



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE CHOROB V SNÍMKU SÍTNICE OKA

DISEASE DETECTION IN EYE RETINA IMAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL KOŠTIALIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ MARUNIAK

BRNO 2017

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2016/2017

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Košťalik Daniel**

Obor: Informační technologie

Téma: **Detekce chorob v snímku sítnice oka**
Disease Detection in Eye Retina Image

Kategorie: Zpracování obrazu

Pokyny:

1. Prostudujte choroby sítnice oka, zejména se zaměřte na diabetickou retinopatii a VPMD.
2. Seznamte se s knihovnou OpenCV a dalšími určenými pro zpracování obrazu.
3. Navrhněte algoritmus pro detekci chorob v snímcích sítnice oka. Zaměřte se zejména na detekce příznaků diabetické retinopatie a VPMD.
4. Implementujte algoritmus a proveďte testy na snímcích sítnice dodanými vedoucím BP.
5. Proveďte zhodnocení úspěšnosti algoritmu dle úspěšnosti detekce příznaků chorob.

Literatura:

- BRADSKI, Gary a Adrian KAEHLER. 2015. *Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*. Early release. Boston: O'Reilly Media. ISBN 9781491937990.
- SUAREZ, Oscar Deniz a Arie LEEUWESTEIJN. *OpenCV essentials: acquire, process, and analyze visual content to build full-fledged imaging applications using OpenCV*. Birmingham, England: Packt Publishing, 2014. Community experience distilled. ISBN 978-1-78398-425-1.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Maruniak Lukáš, Ing.,** UITS FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2016

Datum odevzdání: 17. května 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav inteligentních systémů
602 00 Brno, Božetěchova 2

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček
vedoucí ústavu

Abstrakt

Diabetická retinopatia a vekom podmienená makulárna degenerácia patria medzi najčastejšie ochorenia sietnice, ktoré spôsobujú čiastočnú alebo úplnú slepotu. Cieľom tejto práce je navrhnúť a implementovať software schopný automaticky detegovať príznaky uvedených chorôb zo snímok sietnice oka. Algoritmus detekcie je založený na segmentácii obrazu na oblasti pomocou metódy growing region a ich následnej analýze. Pri detekcii príznakov je potrebné degekovat aj prvky sietnice ako optický disk, makula a krvné riečisko, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú detekciu. Pri vyhodnocovaní bolo použitých 259 snímok a algoritmus dosahoval citlivosť nad 90%. Jedným z potencionálne praktických využití tohto algoritmu je, v spojení s hardwarom a optickým prístrojom, pri globálnom screeningu obyvateľstva. Vďaka automatickej detekcii je možné zistiť prítomnosť príznakov a včas zahájiť liečbu.

Abstract

Diabetic retinopathy and age related macular degeneration are among the most common eye retina diseases, which cause partial or complete blindness. The main goal of this thesis is to design and implement software for automatic detection of symptoms from eye fundus images. The detection algorithm is based on the image segmentation by region growing method and afterwards analysis. Determination of retina objects such as optic disc, macula and blood vessels is important prior symptoms detection as they can adversely affect the results of the analysis. Total 259 images were analysed and algorithm reaches more than 90% average success rate. The algorithm, in combination with appropriate hardware and optic mechanism, forms one of practical application in global population screening. Thanks the automatic detection it is possible to determine the presence of symptoms and start an early treatment.

Kľúčové slová

sietnica oka, choroby oka, diabetická retinopatia, vekom podmienená makulárna degenerácia, spracovanie obrazu, OpenCV, C++

Keywords

eye retina, eye disease, diabetic retinopathy, age related macular degeneration, image processing, OpenCV, C++

Citácia

KOŠTIALIK, Daniel. *Detekce chorob v snímku sítnice oka*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Maruniak Lukáš.

Detekce chorob v snímku sítnice oka

Prehlásenie

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Lukáše Maruniaka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Daniel Košťalik
9. mája 2017

Podakovanie

Ďakujem Ing. Lukášovi Maruniakovi za trpezlivé vedenie a cenné odborné rady, ktoré mi poskytol pri tvorbe tejto práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Ľudské oko	5
2.1	Anatómia ľudského oka	5
2.2	Sietnica	6
2.2.1	Tyčinky a čapíky	7
2.2.2	Žltá škvrna	7
2.2.3	Optický disk	7
3	Choroby sietnice ľudského oka	8
3.1	Diabetická retinopatia	8
3.1.1	Prejavy DR na snímkach sietnice	9
3.1.2	Klasifikácia diabetickej retinopatie	10
3.1.3	Terapia diabetickej retinopatie	10
3.2	Vekom podmienená makulárna degenerácia - VPMD	11
3.2.1	Klasifikácia VPMD	12
3.2.2	Liečba VPMD	13
3.3	Ďalšie ochorenia sietnice	14
3.3.1	Vrodené vady sietnice	14
3.3.2	Obehové poruchy sietnice	14
3.3.3	Septický zápal sietnice	14
3.3.4	Akútna nekróza sietnice	14
3.3.5	Zápal sietnicových žíl	15
3.3.6	Odlúpenie sietnice	15
3.4	Techniky vyšetrovania očného pozadia	15
3.4.1	Oftalmoskopia	15
3.4.2	Arteficiálna mydriáza	16
4	Vybrané techniky spracovania obrazu	18
4.1	Vyhľadzovanie obrazu (image smoothing)	18
4.1.1	Vyhľadzovanie priemerovaním	18
4.1.2	Gaussov filter	18
4.2	Prahovanie	19
4.3	Region growing	19
4.4	Morfologické operácie	20

5	Detekcia príznakov diabetickej retinopatie a vekom podmienenej makulárnej degenerácie	21
5.1	Zosnímanie a digitalizácia	21
5.2	Detekcia prvkov sietnice	21
5.2.1	Maska pozadia	22
5.2.2	Optický disk	22
5.2.3	Fovea	23
5.2.4	Cievy	23
5.3	Exudáty a drúzy	24
5.3.1	Predspracovanie	25
5.3.2	Podozrivé oblasti	25
5.3.3	Vyhodnotenie podozrivých oblastí	26
5.3.4	Nesprávna detekcia	27
5.4	Mikroaneuryzmy a hemorágie	28
5.4.1	Predspracovanie	28
5.4.2	Podozrivé oblasti a ich vyhodnotenie	29
5.4.3	Nesprávna detekcia	29
6	Implementácia a testovanie	31
6.1	Implementácia	31
6.2	Testovanie	32
6.2.1	Ground truth	33
6.2.2	Výsledky testovania	33
7	Záver	36
	Literatúra	37
A	Obsah CD	39

Kapitola 1

Úvod

Zrak je považovaný za najdôležitejší zmyslový orgán, ktorý ľuďom umožňuje vnímať podstatnú väčšinu informácií z okolia. Strata zraku alebo jeho zhoršenie má veľký vplyv na kvalitu života. Aj menšie poškodenie ktorejkoľvek časti oka môže viesť k zhoršeniu videnia. Schopnosť dokonalého vnímania vizuálnych obrazov vyžaduje úzke prepojenie ľudského oka s mozgom. Toto je úlohou sietnice, ktorá obsahuje svetlo citlivé bunky: tyčinky, čapíky a nervové vlákna, ktoré posielajú svetelné vzruchy do mozgovej kôry. Sietnica je teda najdôležitejšia a najcitlivejšia časť nášho oka. Ochorenie sietnice je vždy veľmi závažné a často nezvratné a môže viesť až k strate zraku. Medzi najčastejšie vaskulárne ochorenia sietnice patrí diabetická retinopatia. Približne 2,6% [4] celkovej slepoty populácie spôsobuje diabetes, čo s ohľadom na neustály rast diabetikov predstavuje veľkú zdravotne sociálnu výzvu. Ďalšou dôležitou časťou sietnice je makula (žltá škvrna), ktorá umožňuje ostré videnie, čítanie, riadenie auta, sledovanie televízie a rozoznávanie tvárí. Jej ochorenie znamená stratu schopnosti ostrého videnia. Najčastejšou príčinou praktickej slepoty, ktorou sú ohrození ľudia nad 60 rokov, je vekom podmienená degenerácia makuly. Vo svojej práci som sa zamerlal práve na tieto dve ochorenia. Digitálne spracovanie obrazu a jeho následné vyhodnotenie pomocou počítačovej techniky sa neustále zlepšuje. Automatické diagnostické metódy v súčasnosti umožňujú sledovať vývoj niektorých ochorení, ktorých symptómy sú viditeľné na sietnici oka. Boli vyvinuté viaceré techniky a postupy ako tieto ochorenia automaticky diagnostikovať. Cieľom mojej práce je nájsť alternatívny spôsob ako prejavy týchto chorôb automaticky detegovať na základe digitálneho spracovania obrazu sietnice. Priebeh ochorenia sietnice je postupný a človek si ho často ani neuvedomuje. Vzhľadom na závažnosť ochorenia a prognózu liečby, včasné odhalenie akéhokoľvek ochorenia je veľmi dôležité. Hlavné ciele tejto práce sú:

- Vyvinúť automatický postup detekcie diabetickej retinopatie a vekom podmienenej degenerácie makuly na základe digitálneho obrazu.
- Porovnať získané výsledky s reálnymi stavom ochorenia a prezentovať úspešnosť navrhnutých metód.

Obsah práce a popis jednotlivých kapitol

Prvotným východiskom pre pochopenie problematiky a identifikáciu chorôb na sietnici oka je základné oboznámenie sa s anatómiou ľudského oka, ktoré je popísané v kapitole 2. Rovnako dôležité je poznať prejavy ochorenia sietnice, čomu sa venuje kapitola 3. V 4. kapitole sú prezentované vybrané techniky spracovania obrazu. Samotné jadro práce, teda

detekcia chorôb zo snímok sietnice oka, je rozpracovaná v kapitole 5, kde je aj popísaný navrhnutý postup spracovania digitálneho obrazu. Spôsob akým bol postup implementovaný je spolu s vyhodnotením úspešnosti popísaný v kapitole 6.

Kapitola 2

Ľudské oko

Ľudské oko je párový orgán, ktorý je súčasťou vizuálneho systému človeka. Oko je mierne asymetrická guľa. Má v priemere približne 2,5 cm. Poskytuje jeden zo základných zmyslov umožňujúci vnímať a vyhodnocovať svetelné podnety a získavať tak informácie o objektoch okolitého sveta. K zrakovému ústrojenstvu patrí oko, zrakový nerv, zraková dráha a príslušné časti mozgu. Oko prináša až tri štvrtiny zo všetkých ľudských vnemov. Umožňuje vnímať okolitý svet pomocou svetla, ktoré sa od neho odráža.

Svetlo je elektromagnetické vlnenie. Svetelné lúče sú smerované na sietnicu sústavou šošoviek. Množstvo prechádzajúceho svetla je upravované činnosťou zornice. Na sietnici je svetelný signál spracovaný pomocou tyčínok a čapíkov. Tyčinky a čapíky obsahujú zrakové pigmenty, ktoré sa po dopade svetla chemicky menia a generujú elektrický signál. Ten je očným nervom vedený do mozgu, kde sa skladá výsledný obraz videného [23].

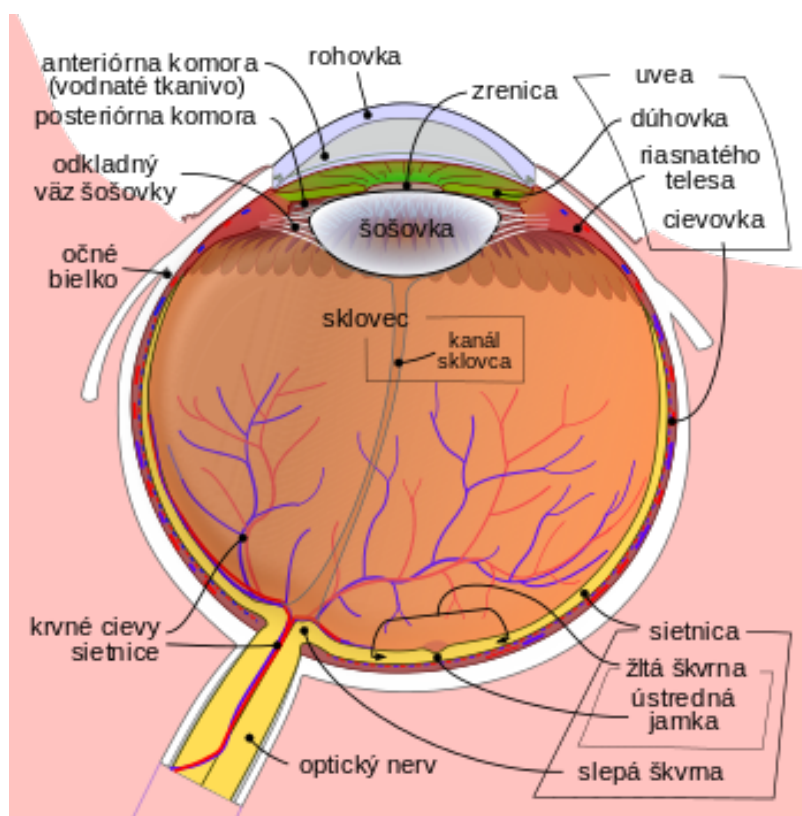
2.1 Anatómia ľudského oka

Ľudské oko sa skladá z týchto základných častí:

- **Rohovka** (cornea) vytvára s bielkom pevný obal oka a tvorí priehľadnú okrúhlu časť oka. Skladá sa z niekoľkých vrstiev. Z vonkajšej časti hraničí s okolím a z vnútornej je v styku s komorovou vodou, čo zvyšuje jej lomivú silu. Rohovka je najcitlivejším tkanivom v ľudskom tele. Neobsahuje cievy, vyživuje sa z komorovej vody a slz.
- **Šošovka** (lens) je transparentná, bikonvexná štruktúra. Má tri základné funkcie: akomodácia, refrakcia a udržanie si vlastnej transparentnosti. Je zložená z 66% vody a z 33% bielkoviny. Je pripojená k povrchu pomocou závesného aparátu.
- **Dúhovka** (iris) má tvar tenkej cirkulárnej platničky s kruhovým otvorom v strede - zrenica. Priesvitnosť zrenice upravujú dva dúhovkové svaly (zvierac a rozširovac), ktoré reagujú na množstvo dopadajúceho svetla na sietnicu.
- **Sklovec** (corpus vitreum) Vyplňuje najväčšiu časť ľudského oka. Je to priehľadná rôsolovitá hmota. Sklovec vyplňuje priestor medzi šošovkou, riasnatým telieskom a sietnicou a zaujíma tak 80% obsahu oka. Slúži k udržaniu formy bulvy a je súčasťou priehľadných optických médií oka. Jeho forma je guľovitá s malou priehľbinou na prednej strane. Leží v ňom šošovka. Sklovec je tvorený z 98 % vodou a má objem približne 4 ml. V patológii sklovca zohráva významnú rolu práve oblasť kontaktu sietnice a sklovca. Vedľa miest, kde je sklovec fyziologicky fixovaný, sa môžu vytvoriť

pri rôznych patologických stavoch ďalšie pevné spojenia, je to najčastejšie v miestach periférnych degenerácií a sietnicových ciev.

- **Cievnatka** (choroidea) je stredný obal oka medzi sietnicou a bielkom. Hlavnou funkciou je výživa oka. Cievnatka obsahuje mnoho ciev, z čoho je odvodený aj jej názov a je tvorená riedkym kolagénovým väzivom obsahujúcim početné melanocyty. Tieto pigmentové bunky spolu s pigmentovým epitelom (tkanivom) sietnice vytvárajú čiernu komoru, ktorá vnútri oka zabraňuje odrazu svetla.
- **Sietnica** (retina) je pre nás najdôležitejšou časťou, a preto jej bude venovaná nasledujúca podkapitola.



Obr. 2.1: Štruktúra oka [19]

2.2 Sietnica

Sietnica (retina) je na svetlo citlivá vrstva na očnom pozadí hrubá 0,1 až 0,25 mm. Je to jemná, priehľadná blana, ktorá vznikla odštiepením z mozgového základu a s mozgom je spojená zrakovou dráhou. Vnútrná plocha susedí s cievnatkou a vonkajšia so sklovcom. V zadnej optickej časti je sietnica silnejšia a vo vzdialenosti 3-4 mm pred ekvátorom prechádza ostrou líniou do svojej slepej časti, ktorá pokračuje dopredu k dúhovke.

2.2.1 Tyčinky a čapíky

Existujú tri typy čapíkov S, M a L. Písmená značia čapíky podľa ich citlivosti ku krátkym, stredným a dlhým vlnovým dĺžkam videného svetla. Maximálna citlivosť S čapíku odpovedá červenej, M čapíku zelenej a L čapíku modré oblasti spektra. Preto je naše videnie trichromatické. Rozloženie čapíkov a tyčínok je nerovnomerné. Čapíky, ktorých je asi 7 miliónov, sú nakopené v oblasti zadného pólu oka v mieste najostrejšieho videnia označené ako žltá škvrna. Čapíky sprostredkujú ostré videnie za svetla a rozlišujú farby. Od žltej škvrny smerom k perifériám čapíkov ubúda. Nachádzajú sa tu len tyčinky, ktorých je približne 130 miliónov. Pomocou tyčínok rozoznávame len svetlo a tmu a slúžia na videnie počas šera a noci. Zväzky zrakových vlákien prebiehajú radiálne smerom k zadnému pólu oka a spájajú sa v mieste nazývanom terč zrakového nervu, kde zrakový nerv opúšťa oko.

2.2.2 Žltá škvrna

Žltá škvrna alebo inak makula je miesto najostrejšieho videnia na sietnici. Je to žltavá oblasť na sietnici na zadnom póle priamo oproti zornici. Má priemer približne 5 mm. Uprostred je fovea. **Fovea** je oblasť s najvyššou zrakovou ostrosťou. Táto oblasť je typická len pre primáty a ľudskú sietnicu. Pri iných cicavcoch pozorujeme tzv. area centralis (mačka), zrakový pruh (králik). Ak je zaznamenaný zrakový impulz v periférii sietnice, oko je automaticky natočené tak, aby svetelný lúč dopadol do fovey (automaticky teda tvoríme zrakový vnem v oblasti s najvyššou zrakovou ostrosťou). Fovea obsahuje prevažne čapíky, ktoré sprostredkujú videnie. S bipolárnymi a gangliovými bunkami sú čapíky žltej škvrny spojené, sú posunuté stranou (čím vzniká v sietnici jamkovité prehĺbenie), a tak v oblasti ostrého zrakového videnia môžu fotóny dopadať priamo na fotoreceptory.

2.2.3 Optický disk

Optický disk, slepá škvrna, terč zrakového nervu či papila zrakového nervu označujú oblasť sietnice, ktorá neobsahuje žiadne fotoreceptory. Obraz, ktorý dopadá na slepú škvrnu nemôže byť vnímaný. Tu sa všetky nervové vlákna gangliových buniek zbierajú a spoločne prenikajú stenou očnej bulvy a vytvárajú zrakový nerv. Optický disk je umiestnený 3-4 mm od fovey. Má šírku priemerne $1,76 \pm 0,3$ mm a výšku $1,92 \pm 0,3$ mm. Z optického disku vystupujú mnohé artérie a žily.

Kapitola 3

Choroby sietnice ľudského oka

3.1 Diabetická retinopatia

Zatiaľ čo diabetes melitus (cukrovka) bol popísaný už v staroveku, diabetická retinopatia je ochorenie objavené relatívne neskoro. Príčinami sú dva základné fakty:

- Diabetická retinopatia sa vyvíja až po niekoľkých rokoch po vzniku cukrovky.
- Pred objavom inzulínu sa táto komplikácia mohla týkať len diabetikov 2. typu. Diabetici 1. typu umierali ešte pred tým, než sa diabetická retinopatia mohla rozvinúť.

Do objavenia oftalmoskopu (do roku 1850) nebolo možné túto neskoršiu komplikáciu verifikovať. Diabetická retinopatia DR je najčastejším vaskulárnym ochorením sietnice. Je veľmi častou neskorou orgánovou komplikáciou diabetesu. Prejavuje sa spravidla po viac než 10 rokoch trvania diabetesu, ale táto doba môže byť dlhšia alebo naopak kratšia. Čím je diabetes lepšie kompenzovaný, tým jeho očná komplikácia nastupuje neskôr. Približne 2 % všetkých diabetikov kvôli retinopatii oslepnú. V priemyselne vyspelých štátoch je najčastejšou príčinou slepoty ľudí v produktívnom veku a s ohľadom na neustáli nárast počtu diabetikov predstavuje diabetická retinopatia závažný zdravotno-sociálny problém. Nie len slepota, ale už aj pokles zrakovej ostrosti má značný vplyv na kvalitu života. Zo štatistiky vyplýva, že diabetik oslepnutý v dôsledku retinopatie neprežije v priemere 5 rokov po celkovom postihnutí ciev organizmu (ľadviny, srdce, mozog). Pokles zraku alebo slepota u diabetikov sú spôsobené dvoma základnými príčinami:

- Komplikácie vznikajúce v súvislosti s proliferatívnou DR, ako krvácanie do sklovca a trakčné odklopenie sietnice.
- V súvislosti so vznikom diabetickej makulopatie.

Diabetická retinopatia prebieha v niekoľkých štádiách. Prvé štádium je možné zistiť len pomocou fluorofotometrie. Po podaní natrium-fluoresceínu do kubitálnej vény sa objaví v cievach sietnice. Zdravé cievy toto farbivo udržujú výlučne intravaskulárne, za fyziologických okolností sa teda nedostáva do extravaskulárneho priestoru. V prípade počínajúceho diabetického poškodenia cievnej steny v štádiu fluorofotometrickom, farbivo už preniká extravaskulárne netesnosťami a jeho prítomnosť je možné zistiť v sklovci pomocou fluorofotometrie. Na sietnici sa v tom čase iné oftalmoskopicky viditeľné zmeny ešte nenachádzajú. Ďalšie štádium sa nazýva jednoduchá, počínajúca, alebo **neproliferatívna diabetická retinopatia NPDR**. Je charakterizovaná tvorbou malých mikroaneurizmov [3.1.1](#), ktoré

často praskajú a dôsledkom toho vzniká ďalší typický príznak – tvorba drobných intraretinálnych, prípadne preretinálnych hemorágií **3.1.1**. S krvou sa však z ciev dostávajú do sklovca aj vysokomolekulárne bielkoviny, ako fibrín a fibronektín. Mikroaneuryzmy nie sú fyziologickým útvarom, krv sa v nich často zráža a často nastáva ich upchatie, čo môže viesť k obliterácii príslušnej kapiláry. Proces vedie k vzniku hypoxie – mikroinfarktom sietnice, čo sa manifestuje akoby na sietnici ležiacimi kúsočkami vaty. Mikroinfarkty majú teda bielu farbu, vláknitú štruktúru a sú preto nazývané aj „vatové škvrny“. Ak sa obliterácia kapilár na tom istom mieste opakuje, vznikajú ťažké exudáty. Sú znakom chronického nedostatku kyslíka. Sú žlté, ostro ohraničené a sú vytvorené bunkami naplnenými tukmi [21].

V dôsledku nedostatok kyslíka v odpovedajúcej oblasti sietnicového tkaniva, reaguje sietnica tvorbou nových ciev v snahe zaistiť dostatok kyslíka. Toto štádium sa nazýva **proliferatívna diabetická retinopatia - PDR**. Novovytvorené cievy sú však patologické (súvisiace s chorobou), vyrastajú na nesprávnom mieste - pred sietnicou. Nie len že neprinášajú sietnici kyslík ale majú pre oko katastrofálne dôsledky. Sú veľmi krehké, často krvácajú do sklovca. Vzniknuté krvé ložiská bránia sietnici snímať obraz.

3.1.1 Prejavy DR na snímkach sietnice

Na snímkach sietnice môžeme pozorovať príznaky DR vo viacerých formách. Predstavíme si len tie najdôležitejšie.

Mikroaneuryzmy

Mikroaneuryzmy (MA) sú považované za základný prejav diabetickej retinopatie. Aj keď sú mikroaneuryzmy charakteristické pre diabetickú retinopatiu nemožno ich považovať za patognomický nález pre túto chorobu. Môžu sa prejavovať pri mnohých iných ochoreniach. MA sú prvé lézie DR, ktoré sú dokázateľné biomikroskopickým vyšetrením. Pretekajúce MA vedú k vzniku edému a prstencovite uloženým exudátom. Ich veľkosť je medzi 12 μm až 100 μm . Sú to okrúhle tmavo červené bodky, ktoré sa veľmi ťažko odlišujú od mikrohemorágií. Na rozdiel od nich by mali mať ostrejšie ohraničené okraje. Ak je ich veľkosť väčšia ako 125 μm , musíme brať do úvahy, že to môžu byť mikrohemorágie.

Hemorágie

Podľa uloženia v sietnici rozlišujeme hemorágie intraretinálne a subretinálne. Hemorágie sa objavujú druhotne ako následok prasknutia mikroaneuryzmov, žíl či vlásočníc. Bodkované hemorágie sú drobné, okrúhle červené bodky a bývajú uložené na úrovni vlásočníc a len výnimočne hlbšie. Ich tvar je závislý na ich umiestnení, ale aj na pôvode krvácania. Niekedy bývajú ohraničené jemným prstencom farbiva. Tento jav pripomína svätožiaru spôsobenú polohou hemorágie nad čerstvo prasknutým mikroaneuryzmom. Škrvnovité hemorágie majú charakteristický vzhľad škvŕn a ich farba je svetlo červená až tmavá. Pataloidné hemorágie sú uložené v povrchových častiach sietnice a majú vzhľad bohatých kvetových plátov. Svojim tvarom pripomínajú tvar chryzantény. Nachádzajú sa väčšinou na perifériách sietnice. V okolí bývajú často mikroaneuryzmy. Sklovcové hemorágie vznikajú následkom krvácania z novovytvorených ciev. Ak sa zdroj krvácania zastaví sám, krv sa veľmi rýchlo vstrebá.

Exudáty

Ťažké exudáty nie sú charakteristické len pre diabetickú retinopatiu. Nachádzajú sa aj pri mnohých ďalších chorobách. Tvrdé exudáty predstavujú ložiská lipidov, proteínov a fibrínu v rôznych vrstvách senzorickej časti sietnice. Tvrdé bodkované exudáty sú okrúhle, jasno žlté bodky. Vytvárajú rôzne zhluky s výraznou tendenciou migrovať. Chumáčovité tvrdé exudáty sa nachádzajú prevažne povrchovo a majú tvar chumáčikov. Plakoidné tvrdé exudáty sa vyskytujú v oblasti fovey, kde zapríčiňujú výrazný pokles zrakovej ostrosti. Tvrdé exudáty sa môžu celkovo spontánne reabsorbovať. **Mäkké exudáty** sú považované za typický prejav diabetickej retinopatie, ale taktiež ich môžeme nájsť aj pri iných ochoreniach. Vznikajú následkom arteriolárnych oklúzií (uzáverov) v nervovej sietnicovej vrstve. Často ich sprevádzajú plamienkovité hemorágie. Pozdĺž okrajov bývajú často rozšírené kapiláry.

3.1.2 Klasifikácia diabetickej retinopatie

Na základe dynamiky sietnicových zmien rozlišujeme nasledujúce štádia a formy DR:

Neproliferatívna DR - NPDR

Základnými klinickými znakmi NPDR sú mikroaneurizmy, hemorágie, intraretinálne mikrovaskulárne abnormality a vatové ložiská. Podľa pokročilosti môžeme NPDR rozdeliť na **počínajúcu** [4-0-0] (čísla v zátvorkách značia počet kvadrantov, v ktorých sú prítomné klinické progresívne znaky uzáveru vlások: hemoragie-flebobatie-intraretinálne mikrovaskulárne abnormality tzv. Davis-Murphyho pravidlo), **stredne pokročilá** [4-1-0] a **pokročilá**. Pokročilá NPDR má širokú škálu klinických progresívnych znakov sietnicovej nonperfúzie a ischémie (nedokrvenie), dynamicky meniacu pokročilú formu [4-2-0] vo veľmi pokročilú formu [4-4-4]. Obe sú považované za rizikový stav. [21]

Proliferatívna DR - PDR

Pre diagnostiku PRD je potrebná prítomnosť novovytvorených ciev, kdekoľvek v oblasti nedokrvenej sietnice alebo na disku zrakového nervu. Okrem progresívnych nálezov neovaskularizácie a fibrózy tkaniva sa pokročilá PDR prejavuje taktiež komplikáciami, akými sú väčšie preretinálne a intravitereálne krvácanie, trakčné odklopenie sietnice a neovaskularizácia na dúhovke. Podľa dynamiky ochorenia rozlišujeme počínajúcu a vysoko rizikovú PDR. Vysoko riziková PDR je definovaná prítomnosťou neovaskularizácie na disku zrakového nervu v rozsahu 1/4 až 1/3 papily a/alebo neovaskularizáciou kdekoľvek na sietnici postihujúcu najmenej 1/4 plochy.

Diabetická makulopatia

Vzniká nezávisle na štádiu DR. Príznačný je diabetický makulárny edém (DME). Vyskytuje sa asi pri 10 % všetkých typov diabetikov. DME charakterizuje zhrubnutie sietnice a prítomnosť ťažkých exudátov v makulárnej oblasti. Makulopatia býva zo začiatku asymptotická. [21]

3.1.3 Terapia diabetickej retinopatie

Neexistuje spôsob, ako ochorenie úplne vyliečiť, existujú však terapeutické opatrenia, ktoré dokážu zastaviť rozvoj ochorenia, stabilizovať stav a v niektorých prípadoch dokonca zlep-



Obr. 3.1:



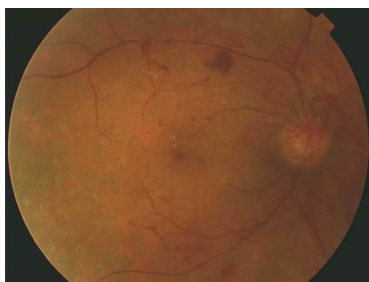
Obr. 3.2:



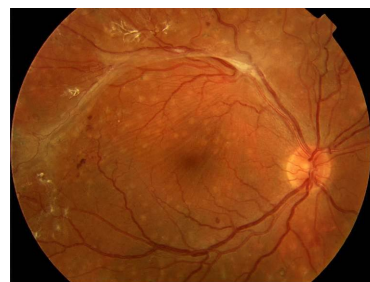
Obr. 3.3:



Obr. 3.4:



Obr. 3.5:



Obr. 3.6:

Obr.3.1 Počiatočná NPDR, Obr.3.2. Stredná NPDR, Obr.3.3. Pokročilá NPDR, Obr. 3.4. Počínajúca PDR, Obr. 3.5. Stredná PDR, Obr.5.10. Pokročilá PDR [14]

šiť kvalitu zraku. Najväčšie výhody terapie z hľadiska pacienta sú skvalitnenie vizuálnych funkcií a zlepšenie kvality života vďaka lepšiemu videniu. Na liečbu sa využíva niekoľko terapeutických postupov, ako je úprava pozadia laserovou fotokoaguláciou, či chirurgickou operáciou sklovca. Novým postupom v prípade diabetickej retinopatie s diabetickým edémom makuly je využitie anti-VEGF liečby. VEGF je skratka, ktorá znamená vascular endothelial growth factor, teda rastový faktor podporujúci rast vlásočníc. Tento faktor je zodpovedný za rast nových ciev. Zabránenie jeho aktivitám znamená, že sa prestanú vyvíjať vlásočnice tam, kde nemajú. Zastavenie rastu ciev tak spôsobí, že choroba nepostupuje. Účinné látky sa podávajú injekciou priamo do oka.

3.2 Vekom podmienená makulárna degenerácia - VPMD

Vekom podmienená makulárna degenerácia (VPMD) je ochorenie, ktoré v poslednom desaťročí plní ordinácie praktických i odborných lekárov. Nie je ňou zasiahnutá len populácia v Českej a Slovenskej republike ale aj v rozvinutých krajinách celého sveta. Ide o ochorenie multifaktoriálne, čo znamená, že na ochorenie má vplyv mnoho faktorov. Okrem veku môžu byť príčinou: fajčenie cigariet, nesprávna výživa, obezita, diabetes melitus, hypertenzia (vysoký krvný tlak), oxidačný stres, pohlavie, rasa, dedičnosť a iné. Avšak jedinou spoľahlivo dokázateľnou príčinou rozvoja VPMD je vek, preto touto diagnózou trpia najmä starší pacienti. S vekom dochádza taktiež k fyziologickým pochodom, ktoré sú prirodzené a nesú prejavy ochorenia (VPMD). Tieto pochody môžu postihovať všetky makulárne štruktúry. VPMD je charakterizované skupinou lézií, medzi ktoré klasicky zahŕňame kumuláciu depozít v hĺbke sietnice - drúzy, neovaskularizáciu, krvácanie tekutiny, akumuláciu tekutiny a geografickú atrofiu.

3.2.1 Klasifikácia VPMD

Na základe klinických prejavov rozlišujeme suchú(atrofickú, neexudatívnu) a vlhkú (exudatívnu, neovaskulárnu) formu ochorenia. Suchá forma postihuje necelých 90 % pacientov a vlhká asi 10 %. Vlhká forma je ale oveľa viac závažnejšia, pretože dokáže veľmi rýchlo a ťažko narušiť anatomicke usporiadanie makuly, a tým aj centrálnu zrkovú funkciu (ostroť, farbocit, kontrastnú citlivosť adaptáciu na svetelné podmienky, apod.) Obidve formy sa môžu v priebehu ochorenia kombinovať.

Suchá forma

Je spôsobená zánikom kapilár. Zasiahnutá osoba si sťažuje na pozvoľný pokles zrkovej ostroty spojený s metamorfopsiou (vnemy zväčšeného/zmenšeného obrazu). Problémy sa prevažne prejavujú pri čítaní. Klinické nálezy, ktoré nachádzame pri suchej forme VPMD, zahŕňajú drúzy, zmeny pigmentácie a určitý stupeň atrofie. Terminálne štádium sa nazýva geografická atrofia. Ako skoré štádium suchej formy označujeme nález (pri pacientoch nad 50 rokov) niektoré z príznakov: mäkké drúzy, oblasti hyperpigmentácie spojené s drúzami, či oblasti hypopigmentácie spojené s drúzami. **Drúzy** sú priamo viditeľné žltavé depozitá v hĺbke sietnice, odpovedajúce nahromadeniu patologického materiálu vo vnútorných retinálnych vrstvách. Obsahujú neutrálne tuky a po obvode fosfolipidy. Drúzy sa líšia veľkosťou, tvarom, vzhľadom. Podľa typu rozlišujeme mäkké a tvrdé drúzy. Mäkké drúzy sú väčšie a majú "mäkký vzhľad". Majú taktiež zreteľnú hrúbku a tendenciu k splývaniu. Podľa odhadnutej veľkosti popisujeme malé a veľké drúzy. Drúzy, ktoré sú menšie ako polovica priemeru žily pri okraji terča, označujeme ako malé (do 63 μm) a odpovedajú tvrdým drúzam. Drúzy $\geq 125 \mu\text{m}$ sú veľké a odpovedajú mäkkým drúzam. Tvrdé drúzy nie sú oftalmoskopicky zachytiteľné do veľkosti 30-50 μm . Lepšie sú viditeľné v red-free svetle¹. Jednoznačne ich je možné dokázať pomocou fluorescenčnej angiografie. V menšom množstve sa pravdepodobne jedná o fyziologický stav. V čase sa ale môžu zväčšovať. Pseudomäkké drúzy sú spočiatku malé, časom sa rozrastajú, približujú tesne k sebe až sa javí dojem splývania. Ten je možné vylúčiť fotograficky(red-free) alebo fluorescenčnou angiografiou. Veľkosť zhľuku nepresahuje 250 μm . **Počínajúca atrofia** predchádza konečnému štádiu (geografickej atrofii). Pomocou autofluorescencie a jej zmien je možné sledovať rýchlosť a smer šírenia atrofie a tak predpovedať riziko zhoršenia zrkovej ostroty a zmien zorného poľa. Pozorujeme ju ako oblasť stenčenia hypopigmentácie RPE (retinálny pigmentový epitel), zasiahnutá sietnica sa javí ružovejšia ako okolie pozadia a drúzy v tejto oblasti bývajú bledšie a tvrdšie.[6]

Geografická atrofia je konečné štádium suchej, atrofickej formy VPMD. Prejavuje sa ako ostro ohraničená oválna či okrúhla hypopigmentácia až depigmentácia či priamo absencia retinálneho pigmentového epitelu. Spočiatku je atrofia len ľahká, lokalizovaná a postupne sa rozširuje často v podkovovitom tvare okolo foveoly. Rozvoj atrofie súvisí s prítomnosťou drúz a hlavne s ich kolapsom či miznutím.

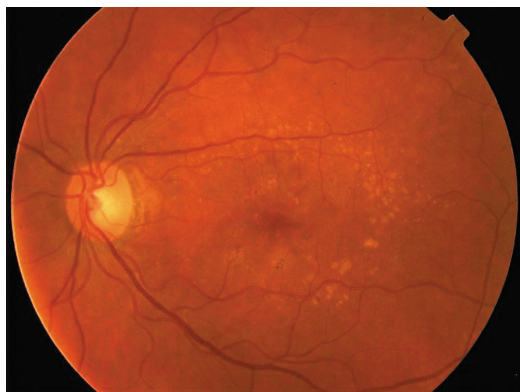
Vlhká forma

Je spôsobená rastom novovytvorených ciev z cievnatky, ktoré sa šíria pod Bruchovou membránou. V Bruchovej membráne vznikajú trhliny, ktorými novovytvorené cievy prenikajú pod pigmentové tkanivo a neskôr tiež pod sietnicu. Tieto novovytvorené cievy majú patologicky zvýšenú permeabilitu, to znamená zvýšenú transudáciu tekutiny pod sietnicu.

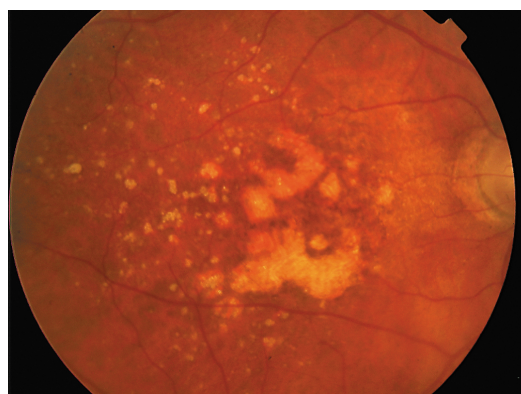
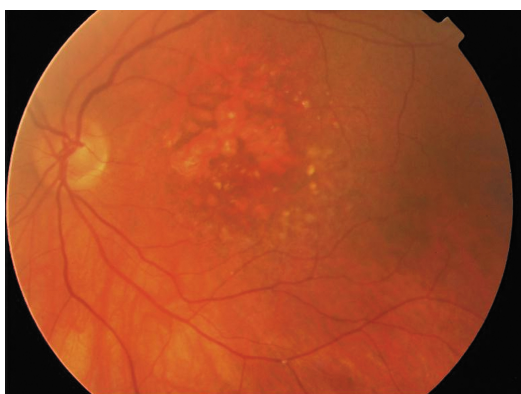
¹red-free svetlo je možné získať pomocou red-free filtrov, ktoré neprepustia lúče červeného svetla



Obr. 3.7: VPMD - mäkké drúzy [13]



Obr. 3.8: VPMD - tvrdé drúzy [13]



Obr. 3.9: Geografická atrofia [13]

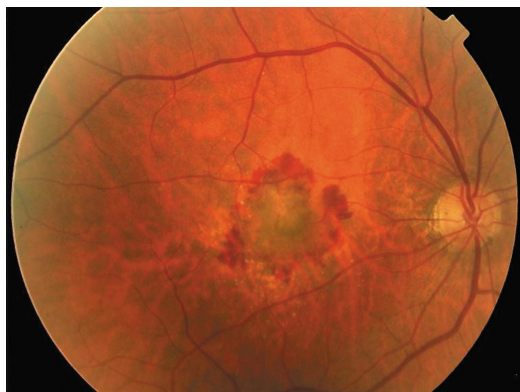
Nasleduje odlúpenie pigmentového tkaniva, spojená s náhlym výrazným poklesom zrakovej ostrosti a vznikom veľmi vážnych porúch vnímania. Novovytvorené cievy sú krehké, a často krvácajú do subretinálneho priestoru. Presakovanie a krvácanie stimuluje tvorbu väzivového tkaniva a v makule sa tvorí väzivový útvar, ktorý sa nazýva pseudotumor alebo disciformná makulárna degenerácia. V porovnaní so suchou formou je postup zmien u vlhkej formy rýchlejší a dramatickejší. Medzi hlavné symptómy vlhkej formy patrí rozmazané videnie, deformácia obrazu a porucha ostrého videnia hlavne do blízka.

3.2.2 Liečba VPMD

K úspešnej liečbe VPMD môže dôjsť len za najdôležitejšej podmienky. Ochorenie je nutné podchytiť v skorých štádiách rozvoja, pokiaľ zrakové funkcie nie sú príliš narušené a keď liečbou stabilizujeme stále dobré videnie. Tak je možné uchovať pacientom schopnosť čítať, schopnosť riadiť motorové vozidlá, a iné aktivity bez obmedzenia života. V neskorších štádiách - za cenu nadmerných finančných prostriedkov, je taktiež možné udržať zrakové funkcie, stabilizuje sa však už len zhoršená zraková funkcia, ktorá neumožňuje návrat k pôvodnému životnému štandardu. V pokročilých štádiách je tento stav väčšinou nemenný, bez nádeje na zlepšenie zraku. Medzi štandardné spôsoby terapie VPMD patria: Fotodynamická terapia, anti-VEGF terapia, laserová fotokoagulácia, chirurgická terapia, rádioterapia.[6]



Obr. 3.10: Vlhká forma - klasická [13]



Obr. 3.11: Vlhká forma - okultná [13]

3.3 Ďalšie ochorenia sietnice

3.3.1 Vrodené vady sietnice

Vrodené vady sietnice nepatria medzi časté vrodené vady oka. Funkčné poruchy pri vrodených vadách závisia na ich rozsahu a lokalizácii. Príkladom je vrodený kolobom sietnice.

3.3.2 Obehové poruchy sietnice

Uzáver centrálnaj sietnicovej artérie sa prejavuje náhlou nebolestivou ťažkou stratou videnia. Príčinou býva upchanie krvnej cievy krvnou zrazeninou zo srdca či kartoidu alebo trauma. Sietnica je šedobelavá s čerešňovo žiariacou makulou. Arterioly sú napriamené a krvný stĺpec v cievach je prerušovaný. Pri uzávere vetvy centrálnaj sietnicovej artérie postihujú popisované zmeny len jednu z vetiev centrálnaj artérie. Uzáver centrálnaj sietnicovej žily sa prejavuje rýchlym nastupujúcim nebolestivým čiastočným poklesom zrakovej ostrosti na kludnom oku. Pri tomto type nachádzame početné prúžkované hemorágie. Uzáver vetvy centrálnaj sietnicovej žily sa prejavuje zmenou početnými prúžkovanými hemorágiami. [7]

3.3.3 Septický zápal sietnice

Je spôsobený zanesením infekcie do centrálnaj tepny sietnice. Oftalmoskopický nález a prognóza sú závislé na virulencii (schopnosť sa šíriť) baktérie, na rozsahu zasiahnutej sietnice a odolnosti pacienta. Pri malej virulencii vznikajú v sietnici rôzne veľké beložltavé ložiská s hemorágiami v okolí. U virulentných infekcií sa hnisavý zápal šíri do okolia. Liečba spočíva v okamžitom nasadení širokospektrálnych antibiotík.

3.3.4 Akútna nekróza sietnice

Toto pomerne nové vírusové ochorenie postihuje spravidla obe oči súčasne. Ochorenie začína náhlou poruchou videnia až slepotou. Oftalmoskopicky nachádzame nepravidelné mapovité belavé skalenie sietnice. Na sietnici je možné pozorovať hemorágie. Sklovec je číri, prípadne mierne zakalený. Liečba spočíva v liečbe základného ochorenia, ktorého prognóza je nepriaznivá.

3.3.5 Zápal sietnicových žíl

Toto ochorenie postihuje predovšetkým mladých mužov vo veku 15 až 35 rokov. Zápalový proces postihuje žily, cievy a vlásoknice. Najvýraznejšie prejavy však nachádzame na periférnych žilách sietnice. Prvou známkou ochorenia je spravidla náhly pokles videnia jedného, výnimočne obidvoch očí. Príčinou je krvácanie do sklovca. Príčina ochorenia nie je celkom známa, no predpokladá sa, že za to môžu autoimunitné ochorenia. Prognóza ochorenia je neistá a často končí slepotou. [7]

3.3.6 Odlúpenie sietnice

Odlúpenie sietnice je závažné očné ochorenie, ktoré ohrozuje videnie pacienta. Podstatou je odlúpenie senzorickej časti sietnice od pigmentového tkaniva, ktorá zostáva pevne fixovaná k cievnatke. Odlúpenie senzorického epitelu od pigmentového tkaniva sietnice vždy znamená narušenie výživy fotoreceptorov. Obzvlášť je citlivá makula. Ak sa podarí v krátkej dobe odchlúpenú sietnicu znovu priložiť, tak sa funkcia fotoreceptorov môže úplne obnoviť. Ak však trvá odchlúpenie sietnice týždne či mesiace, sietnica atrofuje a porucha videnia je trvalá. [7]

3.4 Techniky vyšetrovania očného pozadia

Vyšetrenie očného pozadia je jednou zo základných vyšetrovacích metód v očnom lekárstve a má význam aj pre iné medicínske odbory vrátane interného lekárstva. Na získavanie snímok sietnice je možné použiť viaceré technológie. Najčastejšie sa používa oftalmoskop a fundus kamera.

3.4.1 Oftalmoskopia

Oftalmoskopia znamená vyšetrenie pohľadom zadného segmentu oka, teda sklovca a predovšetkým sietnice a terča zrakového nervu. Princípom vyšetrenia je osvetlenie vnútra oka dostatočne intenzívnym svetlom a pozorovaním lúčov odrazených od sietnice. Tieto lúče je možné pozorovať jedine vtedy, ak je os pozorovania súhlasná alebo veľmi blízka osi osvetlenia. Ak je táto podmienka splnená, môžeme v zornici pozorovať tzv. červený reflex, vznikajúci z dôvodu bohatého prekrvenia cievnatky. Z rovnakého dôvodu môžeme vidieť červený reflex zachytený na niektorých fotografiách, keď os osvetlenia očí bleskom fotoaparátu je podobná osi svetla odrazeného od sietnice a zachyteného objektívom. Rozlišujeme priamu a nepriamu oftalmoskopiю.

Priamy oftalmoskop

Priamy oftalmoskop alebo fundoskop je ručné prenosné zariadenie umožňujúce jednoduché vyšetrenie sietnice. Patrí medzi najdôležitejšie pomôcky oftalmológov. Zostrojil ho v roku 1850 Hermann von Helmholtz. Svetelný zdroj je umiestnený tesne pod okienkom určeným pre pozorovanie sietnice v hornej časti prístroja, obe osi sú takmer koaxiálne (súosé). Obraz sietnice je sledovaný jedným oknom priamo z krátkej vzdialenosti (približne 2 cm) a je zväčšený úmerne optickej mohutnosti oka. Oblasť sietnice, ktorú sme pri danom sklone oftalmoskopom schopný pozorovať, je približne 2 mm. Vyšetrenie rôznych oblastí sietnice je možné dosiahnuť zmenou náklonu oftalmoskopu, prípadne zmenou pohľadového smeru vyšetrovaného oka. Priama oftalmoskopia prináša možnosť detailného vyšetrenia, no na

druhú stranu je málo prehľadná. Pretože štruktúry pozorujeme jedným okom strácame priestorový vnem.

Nepriamy oftalmoskop

Nepriamy oftalmoskop umožňuje vyšetrenie sietnice z väčšej vzdialenosti (približne 50 cm) za použitia vyšetrovacej šošovky. Táto šošovka je najčastejšie asférická spojka o lámavosti 28D. Vyšetrujúci ju drží pred okom vo vzdialenosti odpovedajúcej jej ohniskovej vzdialenosti a cez túto šošovku osvetľuje zadný segment a zároveň pozoruje obraz sietnice. Zdroj svetla je väčšinou umiestnený na čelenke, na ktorej sú taktiež umiestnené okuliare určené k vyšetrovaniu obidvoma očami. Obraz sietnice sa cez vyšetrovaciu šošovku zobrazí ako reálny a prevrátený medzi okom vyšetrujúceho a vyšetrovaného. Vyšetrujúci musí byť schopný tento obraz akomodovať. Výsledný obraz je menej zväčšený ako pri priamej oftalmoskopii, no vďaka použitiu spojky je zobrazená väčšia časť sietnice a vyšetrenie je tak prehľadnejšie. Navyše umožňuje priestorový vnem, kvôli pozorovaniu oboma očami.

Fundus kamera

Je prístroj, ktorý nahrádza oftalmoskop. Jeho konštrukcia je založená na nepriamom oftalmoskope. Zariadenie charakterizuje hodnota maximálneho uhla, pod ktorým je možné snímať svetlo odrazené od snímaného očného prístroja. Výstupom je digitálny obraz sietnice. Fotografie fundu sú využívané pre porovnanie, dokumentáciu a diagnostiku niektorých očných chorôb. Taktiež tieto fotografie môžu slúžiť na identifikáciu a verifikáciu osôb. Použitie tejto kamery je neinvazívne, čo znamená, že nepoškodzuje a nezasahuje snímané oko. Oko pacienta sa vyšetruje v arteficiálnej mydriáze.



Obr. 3.12: Fundus kamera [1]

3.4.2 Arteficiálna mydriáza

Mydriáza je rozšírenie zrenice (pupily) pri slabom osvetlení alebo akomodácii na diaľku (fyziologická mydriáza). Pri slabom osvetlení, vplyvom rozšírenia preniká väčšie množstvo svetla do oka. Opakom je mióza (zúženie zrenice). Umelo vytvorené rozšírenie zrenice sa

nazýva arteficiálna mydriáza a je ju možné dosiahnuť pomocou liekov - mydriatik. Používajú sa parasymmpatitolytiká a sympatikomimetiká. Mydriáza môže zvýšiť vnútroočný tlak komorového uhlu (uhol medzi rohovkou a dúhovkou), preto sa podanie týchto liekov musí pri glaukome s úzkym uhlom pozorne zvážiť. Umelé rozšírenie uľahčuje oftalmologické vyšetrenia. Diagnostická mydriáza sa používa predovšetkým pri podrobnom vyšetrení očného pozadia. Pre vyšetrenie periférie sietnice musí byť mydriáza maximálna.

Kapitola 4

Vybrané techniky spracovania obrazu

V predchádzajúcej kapitole boli predstavené teoretické základy chorôb postihujúce sietnicu ľudského oka. Tieto znalosti sú jednou z prerekvizít samotného návrhu programu. Druhou prerekvizitou sú vedomosti z oblasti spracovania digitálneho obrazu. Nasledujúca kapitola je venovaná vysvetleniu základných algoritmov z tejto oblasti, ktoré boli použité pri implementácii systému automatickej detekcie príznakov chorôb.

4.1 Vyhladzovanie obrazu (image smoothing)

Snímaný obraz ovplyvňujú nežiadúce javy ako je šum. Šum sa napr. môže prejavovať ako zrnenie. Existuje viacero druhov šumu a je potrebné zvážiť vhodnosť a efektívnosť metódy, z dôvodu rozdielnych výsledkov v závislosti na použitej metóde.

4.1.1 Vyhladzovanie priemerovaním

Jedným z najjednoduchších prístupov vyhladzovania obrazu je konvolúcia s použitím masky, ktorá zaisťuje, že výsledok konvolúcie je priemer hodnôt jasu so susednými bodmi v obraze:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{s=-s_{max}}^{s_{max}} \sum_{t=-t_{max}}^{t_{max}} f(x-s, y-t) \quad (4.1)$$

Kde M je počet bodov v maske:

$$M = (2s_{max} + 1)(2t_{max} + 1) \quad (4.2)$$

4.1.2 Gaussov filter

Ďalšou metódou je tzv. Gaussovo vyhladzovanie, kde koeficienty bližšie k stredu masky majú vyššiu váhu a odpovedajú hodnotám na Gaussovej krivke. Jednodimenzionálne Gaussovo rozdelenie hustoty pravdepodobnosti je dané vzťahom:

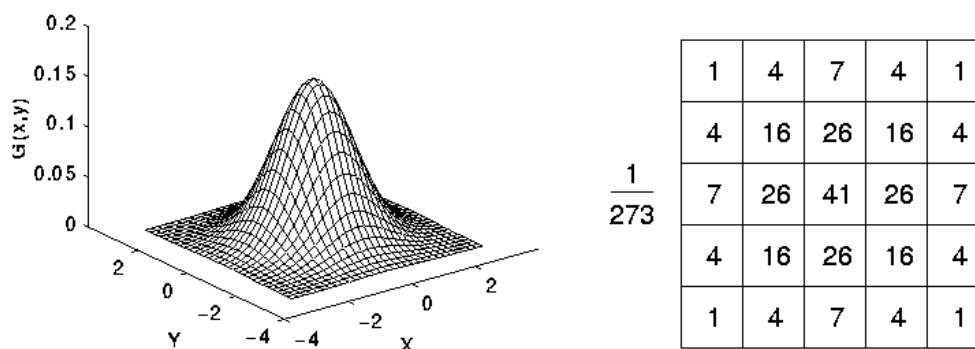
$$h(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.3)$$

Kde m je stredná hodnota a σ^2 je rozptyl. Hodnota m odpovedá stredu masky (často $m=0$). Na parametre σ závisí "strmosť" Gaussovej funkcie (ako rýchlo bude klesať s rastúcim

x). Obrázok 4.1 ukazuje tvar hustoty pravdepodobnosti $h(x,y)$ pre dvojrozmerný náhodný vektor s Gaussovým rozdelením. Dvojrozmerné Gaussovo rozdelenie, kde stredná hodnota je $(0,0)$ je dané vzťahom:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4.4)$$

Funkcia hustoty je definovaná pre všetky body v rovine - od mínus nekonečna do plus nekonečna. Pri implementácii v diskretnom prípade je treba veľkosť masky obmedziť.



Obr. 4.1: Maska získaná pomocou Gaussovej funkcie, $\sigma = 1$, $m = 0$ [18]

4.2 Prahovanie

Prahovanie patrí medzi základné metódy segmentácie spracovania digitálneho obrazu. Je to proces vytvárania bielo čierneho obrázku z šedého. Táto metóda je založená na selekcii pixelu na základe hodnoty jeho intenzity. Ak potrebujeme oddeliť objekty od pozadia, musíme zvoliť prah, ktorý rozdelí obraz na farbu pozadia a farbu objektu. Potom každý pixel, ktorý má hodnotu intenzity menšiu ako tento prah, je nazývaný bod objektu a ostatné sú body pozadia. Binárne prahovanie môžeme popísať vzťahom:

$$R(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) \geq T, \\ 0, & \text{if } f(x, y) < T, \end{cases} \quad (4.5)$$

Adaptívne prahovanie sa líši od základného tým, že hodnota prahu sa líši pre rôzne časti obrazu, je funkciou lokálnych parametrov obrazu. Obraz je najskôr rozdelený do niekoľko častí, pre každú časť je nájdený prah (prahy jednotlivých oblastí môžu byť interpolované) a nakoniec sa vykoná prahovanie pre každú časť s konkrétnym prahom [3].

4.3 Region growing

Algoritmus region growing patrí medzi tzv. region-based techniky segmentácie obrazu. Tak tiež je radený medzi metódy pixel-based, pretože zahŕňa výber počiatočného pixelu - seed. Segmentácia pomocou region growing je založená na rozdelení obrázku do podobných (homogénnych) oblastí susediacich pixelov na základe podobnosti vlastností ako: intenzita,

farba či textúra. Pre dosiahnutie požadovaného výsledku je potrebné dôkladne zvoliť kritérium homogenity. Tento prístup k segmentácii skúma susedné pixely počiatočného pixelu-seed a rozhoduje či tieto susedné body budú pridané do spoločného regiónu. Proces sa opakuje pre každý novo pridaný pixel. Prvým krokom je výber počiatočného pixelu, ktorého pozícia závisí na type úlohy. Región rastie od počiatočného pixelu smerom na príslušné vzhľadom na kritérium homogenity. Okolie pixelu môže mať veľkosť 4 alebo 8 pixelov. Ak je toto kritérium splnené, pixel je pridaný do regiónu. Následne sa skúmajú okolia novo pridaných pixelov. Región sa uzavrie ak sú preskúmané všetky okolia pixelov v regióne. Nasleduje výber nového počiatočného pixelu - seed. Tento pixel sa vyberá z množiny pixelov, ktoré ešte nepatria do žiadneho regiónu. Algoritmus končí ak sú všetky pixely priradené do regiónov [9].

4.4 Morfológické operácie

Morfológickú operáciu môžeme všeobecne popísať ako reláciu medzi bodovou množinou a štruktúrnym elementom. Štruktúrny element systematicky prechádza bodovú množinu a jej vzťah k obrazu sa v každej pozícii reprezentatívneho bodu ukladá do výstupného obrazu [17].

Dilatácia

Dilatácia skladá body dvoch množín pomocou Minkowského súčtu. Pojem Minkowského súčtu zaviedol v roku 1889 Hermann Minkowski. Patrí k dvom základným morfológickým operáciám, ktoré sa využívajú pri spracovaní binárnych, monochromatických alebo farebných obrazoch. Môžeme ju popísať vzťahom:

$$M \oplus B = \{p \in \varepsilon^2 : p = m + b, m \in M, B \in B\} \quad (4.6)$$

Dilatáciu binárneho obrazu môžeme chápať ako posúvanie štruktúrneho prvku po obraze a hľadanie nenulového bodu na obraze. Ak sa začiatok štruktúrneho prvku práve prekrýva s bodom objektu na obraze, obraz sa v tomto mieste prekreslí podľa štruktúrneho prvku (zjednotenie množín) a ďalej pokračuje posúvanie štruktúrneho prvku do ďalšieho bodu objektu. Dilatácia zväčšuje objekt, zaplňuje malé diery a úzke zálivy.

Erózia

Erózia skladá dve množiny pomocou Minkowského rozdielu. Pojem Minkowského rozdiel zaviedol G. Matheron v roku 1967. Erózia je duálna morfológická operácia k dilatácii (ale nie inverzná). Erózia je po dilatácii druhou základnou morfológickou operáciou v spracovaní obrazu. Môžeme ju popísať vzťahom:

$$M \ominus B = \{p \in E^2 : p + B \in A, \forall b \in B\} \quad (4.7)$$

Erózia podľa tejto definície pre každý bod p overuje, či pre všetky možné $p+b$ leží výsledok v A . Ak áno, tak je výsledok 1 (biely bod), ak nie, tak je výsledok 0 (čierny bod).

Kapitola 5

Detekcia príznakov diabetickej retinopatie a vekom podmienenej makulárnej degenerácie

Existuje mnoho prístupov ako automaticky detegovať príznaky. V nasledujúcej kapitole bude predstavený jeden z možných postupov. Pred samotnou detekciou príznakov najskôr boli detekované prvky sietnice ako optický disk, fovea a cievy. Potreba detegovať aj tieto prvky vzniká z dôvodu spresnenia výsledku. Tieto prvky nepriaznivo ovplyvňujú detekciu príznakov. Prvá podkapitola je venovaná zosnímaniu a digitalizácii. Druhá podkapitola je zameraná na popis postupu detekcie prvkov sietnice a tretia je venovaná detekciou konkrétnych príznakov.

5.1 Zosnímanie a digitalizácia

Na vytvorenie a otestovanie algoritmu pre automatickú detekciu príznakov diabetickej retinopatie (DR) a vekom podmienenej makulárnej degenerácie (VPMD) je potrebná testovacia vzorka snímkou sietnic. Táto vzorka musí byť dostatočne obsiahla a variabilná. Snímky sietnice ako už bolo spomenuté je možné získať pomocou fundus kamery. Kvalita snímky je ovplyvnená mierou zaostrenia a svetelnými podmienkami. Zosnímanie je pomerne zdĺhavý proces, čo sa týka časovej náročnosti, personálu na obsluhu a obmedzeného množstva pacientov s týmito príznakmi. V tejto práci boli použité databázy diaretdb0 [11] a diaretdb1 [12]. Tieto databázy spolu poskytujú 219 farebných snímok vo formáte PNG s rozmermi 1500x1152 px. Tieto snímky obsahujú nálezy ako ťažké exudáty, mikroaneuryzmy, hemorágie a neovaskularizáciu.

5.2 Detekcia prvkov sietnice

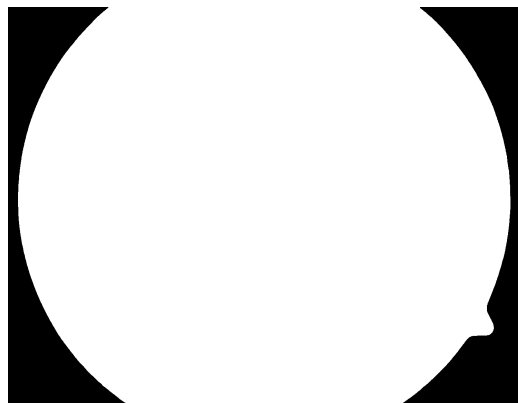
V tejto časti je popísaný postup detekcie prvkov sietnice, ktoré nie sú nálezy: optický disk, fovea a krvné riečisko. Ich detekciou a následným odstránením spresníme detekciu príznakov.

5.2.1 Maska pozadia

Maska pozadia rozdeľuje snímok na dve oblasti. Oblasť sietnice a oblasť pozadia. Potreba detegovať v snímke len oblasť sietnice vzniká preto, lebo na pozadí sa môžu vyskytovať drobné artefakty, ktoré môžu ovplyvniť ďalšie spracovanie snímky. Taktiež správna detekcia pozadia môže urýchliť nasledovné spracovanie. Z obrázku 5.1 je jednoznačne vidieť, ktorá oblasť patrí sietnici a ktorá pozadiu. Ak chceme získať masku pozadia automaticky, prevedieme obrázok do šedej a aplikujeme normalizované vyhladenie maticou o veľkosti 5x5. Následne aplikujeme binárne prahovanie s veľkosťou prahu 5.



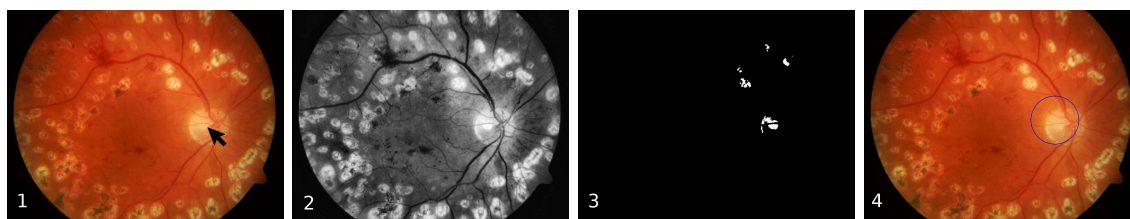
Obr. 5.1: Snímka sietnice



Obr. 5.2: Maska pozadia

5.2.2 Optický disk

Optický disk (OD) je miesto na sietnici, kde vstupuje centrálna žila a zbiehajú sa nervové vlákna. Oftalmoskopicky sa OD javí ako naružovelý mierne oválny útvar o priemere 1,5 mm a môže byť v niektorých prípadoch veľmi podobný ťažkým exudátom. Z toho dôvodu je ho potrebné extrahovať. OD je možné detegovať na základe jeho intenzity. V snímkach zdravej sietnice je jeho intenzita často najväčšia. Problémom je, keď sa v obrázku nachádzajú aj ťažké exudáty alebo drúzy. Tie majú podobnú intenzitu ako optický disk a detekcia môže byť chybná. Preto je potrebné brať do úvahy aj veľkosť. Pred samotnou detekciou je obrázok predspracovaný a to prevedením do odtieňov šedej a vyhladením pomocou Gaussovho filtra. Automatická detekcia OD je založená na princípe postupného znižovania hodnoty



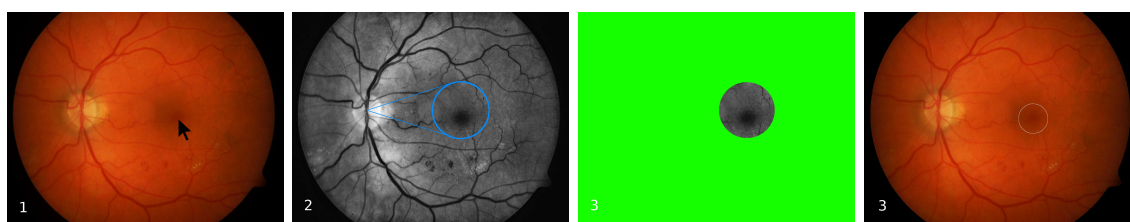
Obr. 5.3: Proces detekcie optického disku

prahu. Obrázok je najskôr prevedený do stupňov šedej (obrázok 5.3 snímok 2). Algoritmus začína na maximálnej hodnote 255 a postupne znižuje prah. Po každom znížení prahu sú detekované hrany pomocou Canny Edge Detector algoritmu a následne sú vyhladané kontúry, ktorým je vypočítaný ich obsah. Prvá kontúra s počtom pixelov viac ako 1520 patrí

optickému disku a cyklus končí. Hodnota 1520 vykazovala najväčšiu úspešnosť pri experimentovaní nad databázou snímok. Na obrázku 5.3 v snímke 3 je zachytený snímok na konci postupného prahovania. Znamená to, že sa našla oblasť s požadovanou intenzitou a veľkosťou. Táto oblasť patrí optickému disku.

5.2.3 Fovea

Pri detekcii nálezov často dochádzalo k nesprávnemu označeniu fovey za nález. Preto vznikla potreba detegovať foveu. Tým že má fovea najväčší vplyv na kvalitu zraku, je možné detekciu fovey využiť na posúdenie závažnosti ochorenia. Ako bolo spomenuté, fovea je oblasť na sietnici s najväčším počtom nervových vlákien. Poškodenie tejto oblasti má vážne následky na kvalitu zraku. Na snímkach sietnice ju môžeme pozorovať ako kruhovitú prípadne oválnu tmavú miestu s priemerom približne 5 mm. V niektorých prípadoch je foveu na obrázkoch sietnice ťažké rozpoznať. Hlavne ak splýva s pozadím sietnice alebo je sietnica vážne poškodená. Pri detekcii je veľmi nápomocný fakt, že fovea je vždy umiestnená v približne rovnakom mieste vzhľadom k optickému disku, ktorý je omnoho ľahšie detegovať. Avšak jej presnú polohu nie je možné presne určiť len na základe tejto relatívnej pozície [2]. Približnú pozíciu fovey určíme experimentovaním nad databázou diaretdb0 a diaretdb1. Výsledná podozrivá oblasť je na druhej snímke v obrázku 5.4. Túto podozrivú oblasť sme postupne prahovali obdobne ako pri detekcii optického disku ale s rozdielom, že prah narastá vzostupne od počiatočnej hodnoty prahu 0.

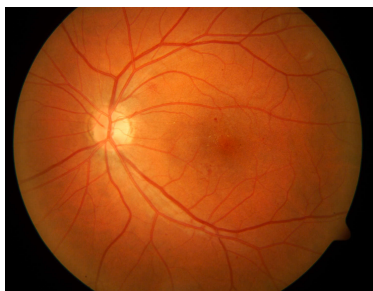


Obr. 5.4: Proces detekcie fovey.

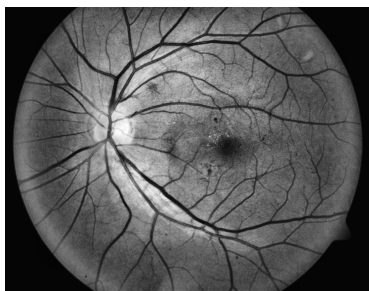
5.2.4 Cievy

Pri detekcii príznakov DR a VPMD môžeme naraziť na problém, že niektoré oblasti krvného riečiska sú veľmi podobné ako príznaky ochorení. Jedným z postupov ako zabrániť tejto nesprávnej detekcii je, že sa zameriame na detekciu príznakov a podobné oblasti sa budeme snažiť vylúčiť. Ďalší možný prístup je, že najskôr detekujeme krvné riečisko, odstránime ho zo snímky a následne detekujeme nálezy. Tento prístup vykazoval väčšiu úspešnosť. Postup detekcie krvného riečiska je zobrazený na obrázkoch 5.5 až 5.10.

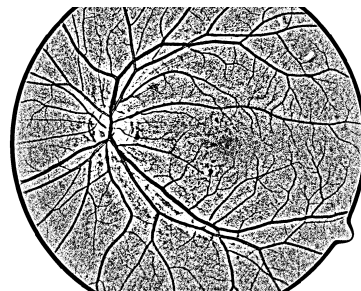
Ako prvé bola aplikovaná na oblasť maska pozadia. Vďaka tomu sme získali len oblasť, ktorá nás zaujíma. Zo získanej oblasti bol extrahovaný zelený kanál. Na zelenom kanáli je najlepšie pozorovať kontrast žíl a pozadia sietnice. Na tento zelený kanál je aplikované binárne adaptívne Gaussovo prahovanie. Pri detekcii v snímkach bez nálezov DR či VPMD je možné detegovať aj menšie vlásoknice. Ak však sa na sietnici nachádzajú nálezy, často krát automatická detekcia identifikuje tento nález ako vlásoknicu. Dôležitú úlohu zohráva parameter, ktorý určuje veľkosť matice pri adaptívnom Gaussovom prahovaní. Tu je potrebné pristúpiť na kompromis medzi kvalitou detekcie aj menších vlásokníc a nesprávnou detekciou nežilových oblastí. Pri experimentovaní s veľkosťou matice vykazovala hodnota



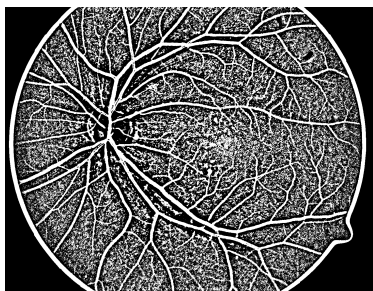
Obr. 5.5:



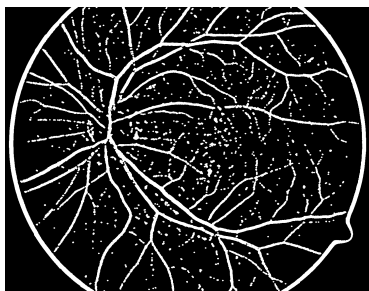
Obr. 5.6:



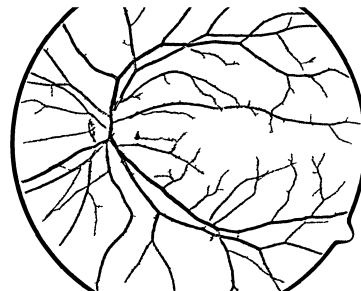
Obr. 5.7:



Obr. 5.8:



Obr. 5.9:



Obr. 5.10:

Obr.5.5. Snímka sietnice, Obr.5.6. Zelený kanál, Obr.5.7. Adaptívne prahovanie, Obr. 5.8. Invertovanie, Obr. 5.9. Morfológická operácia - open, Obr.5.10. Vylúčenie malých oblastí

51 najlepšie výsledky. Na obrázku 5.7 si môžeme všimnúť, že rozhranie medzi sietnicou a pozadím je nesprávne detekované ako žila. Tento jav vzniká pri adaptívnom Gaussovom prahovaní, ktorý detekuje aj tento okraj ako žilu. Pre ďalšie spracovanie to neprekáža, a preto ho tam ponecháme aj keď nepatrí do cievneho systému sietnice. Na záver boli odstránené drobné oblasti pomocou growing region.

5.3 Exudáty a drúzy

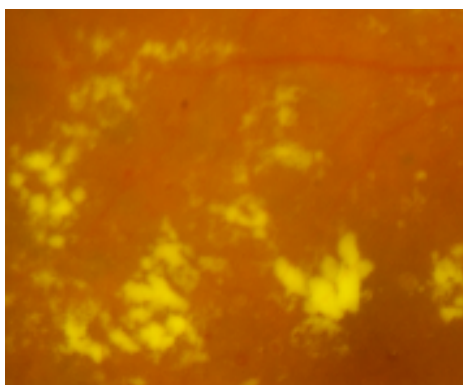
Exudáty, ktoré vznikajú pri diabetickej retinopatii a drúzy, ktoré vznikajú pri vekom podmienenej makulárnej degenerácii sú veľmi podobné. Podobnosť môžeme vidieť na obrázkoch 5.11. 5.12. Preto je možné detegovať tieto príznaky rovnakým algoritmom. Exudáty a drúzy, ďalej už len nálezy ako už bolo spomenuté sú tukové látky. Tieto tuky sú žltej farby. Rozsah žltej, ktorá je charakteristická pre nálezy v skúmanej množine snímok je zobrazený v tabuľke 5.1. Tvar a veľkosť nálezov nie sú ničím špecifické. Proces usádzania vysokomolekulárnych tukových látok je náhodný a na tvar a veľkosť usadenia má vplyv veľa faktorov (hustota extravazálneho prostredia, hustota tukových látok, permeabilita, miera poškodenia ciev a iné). Umiestnenie nálezov tiež nie je ničím špecifické a môžu vzniknúť kdekoľvek na sietnici. Nálezy je možné pozorovať aj v oblasti fovey, kde majú najväčší vplyv na zníženie kvality zraku.

Jednou z najintuitívnejších metód ako detegovať nálezy je pomocou prahovania. Tento spôsob je možné použiť, iba za predpokladu, že všetky snímky sietnic budú v rovnakej kvalite a pacienti budú mať rovnaké odtiene sietnice. Tento stav je nereálny. Sietnice pacientov sú veľmi rozmanité. Vplyv na vzhľad sietnice má mnoho faktorov akými sú napríklad: vek,

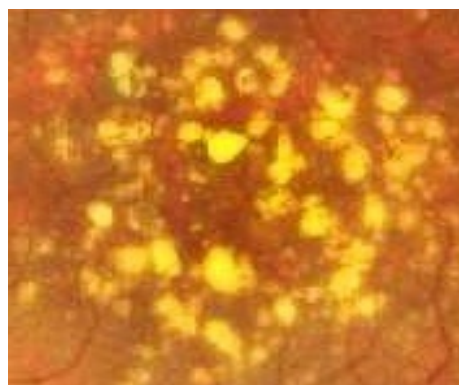
	Exudáty a drúzy	Optický disk
H	35-47	38-49
S	98-100	98-100
V	51-100	66-100
Gray	38-80	25-86

Tabuľka 5.1: Hodnoty pixelov nálezov a optického disku

pohlavie, zdravotný stav, či rasa [10] [16]. Aby na detekciu príznakov nemali tieto faktory vplyv je potrebné zvoliť komplexnejší postup. Základná myšlienka je inšpirovaná z práce [20], kde sa využíva na detekciu segmentačná metóda region growing. V nasledujúcich častiach sú vysvetlené jednotlivé kroky, ktoré vedú k detekcii exudátov a drúz.



Obr. 5.11: Exudáty



Obr. 5.12: Drúzy

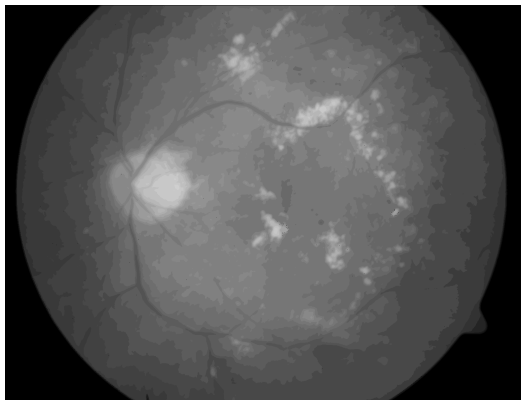
5.3.1 Predspracovanie

Ako prvé je zo snímky získaná maska pozadia. Vďaka nej je jasne definovaná oblasť záujmu. Snímky očného pozadia obsahujú šum a príliš malé detaily, ktoré by neskoršie spracovanie rapídne spomalili a mohli by nepriaznivo vplyvať na výsledok. Ako prvé je prevedený farebný rgb obrázok do šedej a následne rozmazaný normalizovanou maticou s veľkosťou 5x5. Z obrázku je taktiež extrahovaný optický disk, ktorý by bol nesprávne detekovaný ako príznak choroby. Ak je snímok príliš veľký a výsledok detekcie chceme získať v kratšom čase, je potrebné snímok zmenšiť.

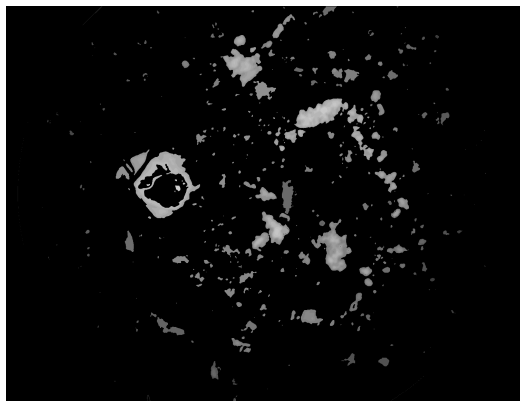
5.3.2 Podozrivé oblasti

Na získanie podozrivých oblastí využijeme algoritmus region growing. Pomocou tejto metódy segmentujeme snímok na homogénne oblasti, ktoré sú vhodnejšie na ďalšie spracovanie. Ako homogenizačné kritérium je použitá hodnota jasu. Tento parameter určuje maximálny rozdiel jasu počiatočného pixelu a pixelov novo pridávaných do regiónu/oblasti. Kritérium musí byť nastavené tak, aby algoritmus nezlúčil pozadie (sietnicu) a nálezy. Podmienkou je, že tieto pixely musia byť priľahlé. Konkrétna hodnota je získaná porovnaním hodnoty jasu nálezu s hodnotou jasu okolia a je upravená experimentovaním. Nad databázami diaretdb0 a diaretdb1 vykazovala hodnota 8 najlepšie výsledky. Výsledok môžeme vidieť na obrázku 5.13.

Pri tejto segmentácii vzniknú aj príliš veľké regióny. Regióny nad 4 000 pixelov sú vylúčené. Tieto oblasti reprezentujú samotné pozadie sietnice. Taktiež môžeme odstrániť oblasti, ktoré sú príliš tmavé a to pod hodnotou šedej 130. Sú totiž príliš tmavé na to, aby boli exudáty alebo drúzy. Výsledné podozrivé oblasti môžeme vidieť na obrázku 5.14.



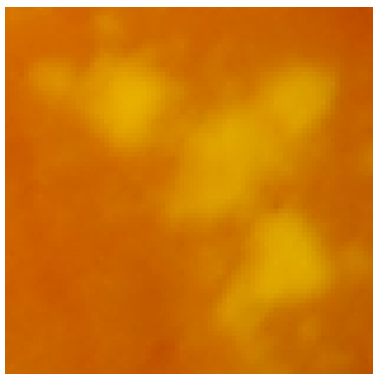
Obr. 5.13: Výsledok region growing



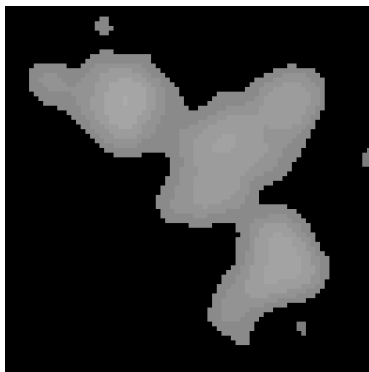
Obr. 5.14: Podozrivé oblasti

5.3.3 Vyhodnotenie podozrivých oblastí

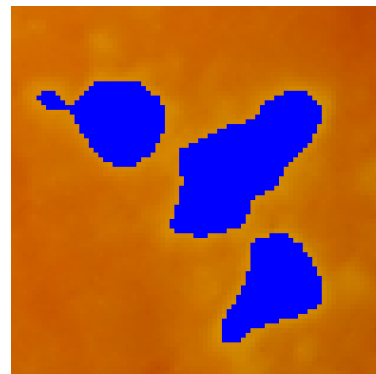
Jednou z možností ako detegovať nálezy je, že najväčšiu oblasť budeme brať ako pozadie sietnice. Stupeň šedej tejto oblasti bude slúžiť ako hodnota pre prahovanie. Pixelov, ktorých hodnoty sú menšie ako oblasť pozadia budú nastavené na 0 a väčšie na 255. Týmto spôsobom zostanú viditeľné len nálezy. Postup je prezentovaný v práci [20]. Pri tomto spôsobe je potrebné komplikovanejšie predspracovať snímky a pri implementácii nedosahoval požadované výsledky.



Obr. 5.15: Exudáty



Obr. 5.16: Podozrivé oblasti



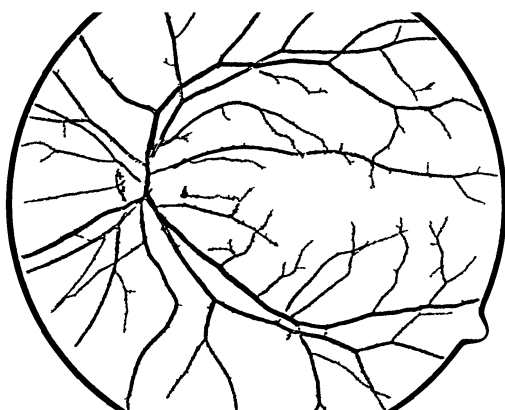
Obr. 5.17: Výsledok

Pri detekcii exudátov a drúz vychádzame z podozrivých oblastí. Oblasti, ktoré reprezentujú nálezy sa jasne líšia od ostatných oblastí. Na prvý pohľad je možné pozorovať odlišnosť vo veľkosti stupňa šedi. Ak by sme na základe tohto rozdielu identifikovali nálezy, často by označili aj oblasti, ktoré nie sú nálezmi. Dôležitejším rozdielom je, že tieto nálezy sa nachádzajú vo vrstevniciach. Môžeme ich vidieť aj na obrázku 5.16. Vrstevnice sú vnútri jasnejšie a smerom von tmavnú. Vďaka tomu môžeme správne detegovať nálezy. Vrstevnice detegujeme na základe vrcholov a ich susedných oblastí. Vrcholy získame pomocou minim

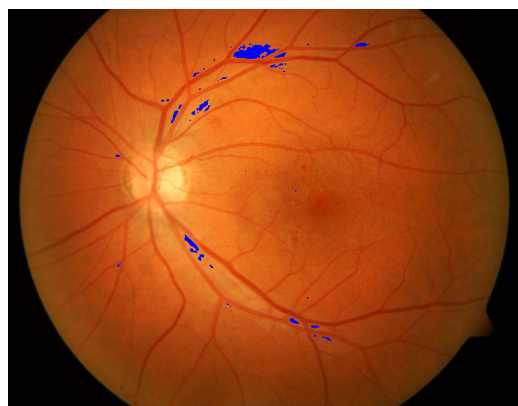
a maximálnych súradníc danej oblasti. Vrcholové pixely porovnáme s pixelmi susediacimi smerom von z oblasti. Ak sú hodnoty šedej všetkých susedných bodov menšie, môžeme prehlásiť, že daná oblasť, leží na vrstevnici. Obecne toto ale neplatí. Ak by sme chceli dokázať, že oblasť je vo vrstevnici, museli by sme porovnať všetky susedné pixely hraničných pixelov. Z dôvodu časovej náročnosti nám postačia aj vrcholové body. Výsledok po aplikovaní pravidla je na obrázku 5.17.

5.3.4 Nesprávna detekcia

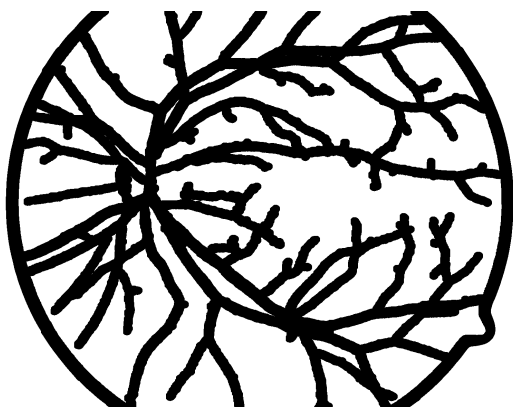
Pri použití algoritmu na detekciu nálezov, môže dôjsť k označeniu aj oblastí, ktoré nálezmi nie sú. Spoločnou vlastnosťou týchto nesprávne detegovaných oblastí je že sa nachádzajú medzi žilami alebo pri nich. Na odstránenie týchto oblastí využijeme detekciu žíl 5.2.4. Na obrázok s detegovanými žilami aplikujeme binárnu dilatáciu. Dilatácia spôsobí zhrubnutie žíl. Vďaka tomu úzke miesta splynú a čiastočne sa eliminuje nesprávna detekcia.



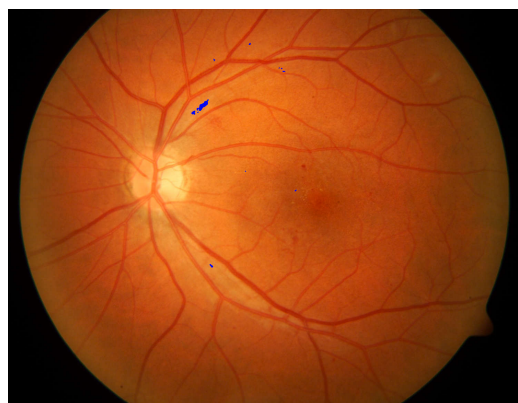
Obr. 5.18: Krvné riečisko



Obr. 5.19: Nesprávna detekcia exudátov

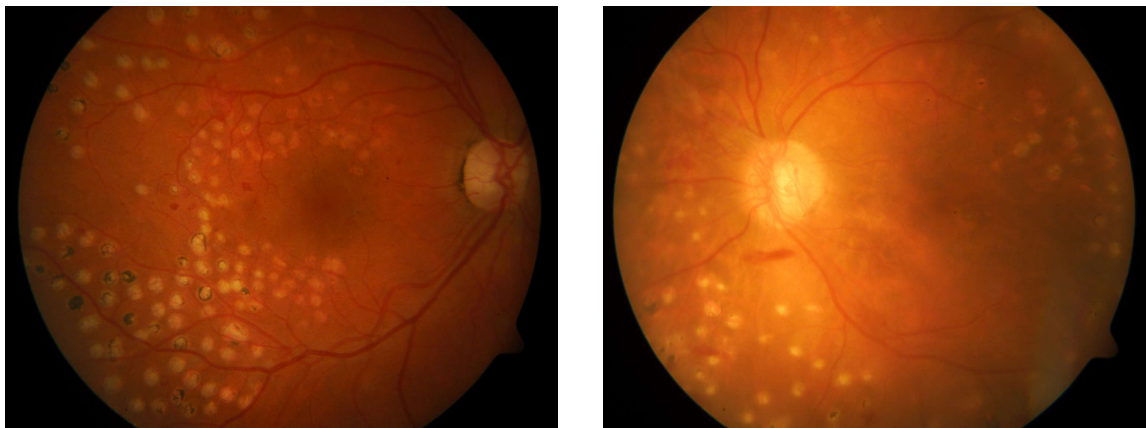


Obr. 5.20: Dilatované krvné riečisko



Obr. 5.21: Zmiernená nesprávna detekcia exudátov

Ďalší nepriaznivý vplyv majú na správnosť detekcie fotokoagulačné body. Tie vznikajú po zákroku laserom - fotokoagulácia [8]. Cieľom tohto zákroku je zastaviť alebo aspoň spomaliť neovaskularizáciu. Tieto miesta sú svetlo-bledé a oftalmoskopicky sa veľmi podobajú na hemorágie a drúzy. Implementovaný algoritmus nie je schopný tieto body rozlíšiť od nálezov. Na obrázku 5.22 vidíme príklady tohto zákroku. Síce tieto body sú nesprávne označené ako príznaky, no pri celkovom vyhodnotení detekcie choroby nám to až tak prekážať nebude. Tieto sietnice patria pacientom, ktorí sú už aktívne liečení.



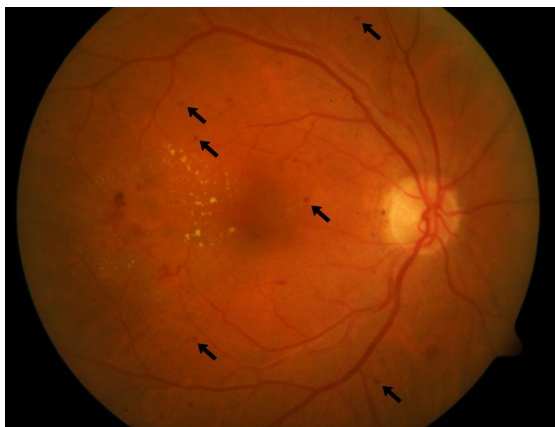
Obr. 5.22: Fotokoagulačné body

5.4 Mikroaneuryzmy a hemorágie

Mikroaneuryzmy(MA) a hemorágie(HE) patria medzi typické príznaky diabetickej retinopatie. MA sú drobné vakovité rozšírenia kapilár sietnice. HE vznikajú prasknutím alebo pretečením MA, žíl či vlásočníc. Ich výskyt závisí od fyziologických faktorov pacienta a jeho miery ochorenia. Oftalmoskopický popis nájdeme v kapitole 3.1.1. Na obrázkoch 5.28 a 5.29 môžeme pozorovať rozdiely medzi mikroaneuryzmami a hemorágiami. Pri menších HE je veľmi ťažko rozlíšiť či ide o MA ale HE. Ich charakteristika je veľmi podobná, a preto ich budeme vyhľadávať ako jeden typ príznaku.

5.4.1 Predspracovanie

Pred detekciou oblastí je potrebné obrázok so sietnicou predpripraviť. Z obrázku je extrahovaný zelený kanál. Na zelenom kanáli je možné lepšie pozorovať kontrast medzi nálezmi a pozadím. Na tento kanál je aplikované Gaussovo rozmazanie. Vďaka tomu splynú príliš malé oblasti s pozadím. Ak by sme tento krok vynechali, algoritmus region growing by tieto drobné oblasti vyhodnotil ako samostatné oblasti a rapídne by to spomalilo spracovanie a nepriaznivo ovplyvnilo detekciu. Tu je však potrebné dať pozor na to, aby s pozadím nesplynuli aj mikroaneuryzmy. Na toto má vplyv veľkosť jadra pri Gaussovom rozmazaní. Po experimentoch s veľkosťou jadra vyšla najlepšia hodnota veľkosti jadra 5x5. Následne sú príliš jasné oblasti a to nad hodnotu šedej 50, odstránené pomocou prahovania. Tieto oblasti sú príliš svetlé aby boli mikroaneuryzmy alebo hemorágie a ich odstránením urýchlíme ďalšie spracovanie. Hodnotu prahu nenastavíme presne na hranicu jasú nálezov. Ale ponecháme dostatočnú rezervu, aby sa pri následnom spracovaní vytvorili vrstevnice, podľa ktorých detegujeme mikroaneuryzmy či hemorágie.



Obr. 5.23: Microaneurysmy



Obr. 5.24: Hemorágie

5.4.2 Podozrivé oblasti a ich vyhodnotenie

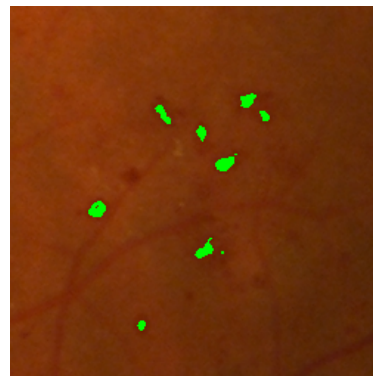
Podozrivé oblasti sú získané pomocou algoritmu region growing rovnako ako pri exudátoch. Vďaka region growing je sieťnica segmentovaná na homogénne oblasti. V tomto prípade je parameter určujúci rozsah hodnôt pixelov, ktoré sa zlúčia a vytvoria oblasť, nastavený na 10. Maximálna veľkosť nálezov bola 77 pixelov z čoho vyplýva že všetky väčšie oblasti môžeme odstrániť. To platí aj o maximálnej farebnej hodnote 45. Oblasti nad túto hodnotu sú príliš jasné na to, aby boli nálezmi a preto ich môžeme taktiež odstrániť. Na prehlásenie podozrivej oblasti za nález využijeme fakt že skutočné MA a HE vytvárajú vrstevnice, ktoré smerom do ich centra tmavnú. Na obrázku 5.26 je príklad vytvorenie vrstevníc.



Obr. 5.25: Hemorágie



Obr. 5.26: Podozrivé oblasti

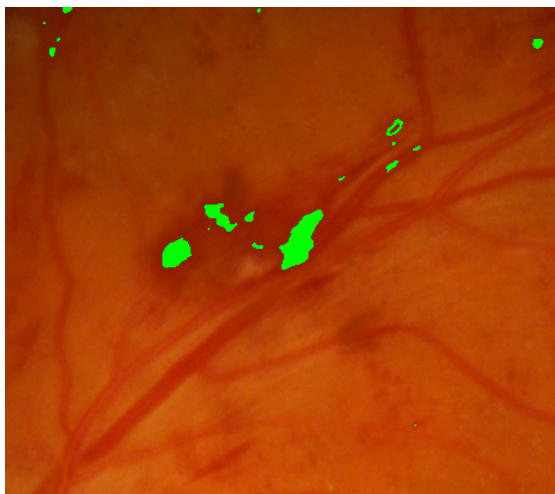


Obr. 5.27: Výsledok

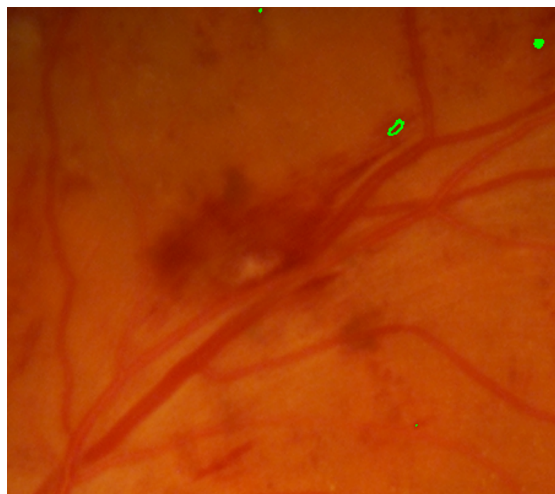
5.4.3 Nesprávna detekcia

Žily či vlásoknice majú veľmi podobné vlastnosti ako tieto nálezy a pri postupe uvedenom v predchádzajúcej časti, taktiež vytvárajú vrstevnice. Tieto vrstevnice sú nesprávne klasifikované ako nálezy. Problém odstránime pomocou detekcie žíl. Avšak detekcia žíl so sebou prináša aj nežiadúce účinky. Ak sa blízko pri žile alebo vlásoknici nachádza hemorágia, je vďaka binárnemu adaptívnemu prahovaniu nesprávne klasifikovaná ako žila. Tu je potrebné zvoliť kompromis medzi počtom nesprávne označených žíl ako nálezy a počtom správne

detegovaných nálezov aj v blízkosti krvného riečiska. Príklad môžeme vidieť na obrázku 5.28 a 5.29.



Obr. 5.28: Bez detekcie žíl



Obr. 5.29: S detekciou žíl

Na nesprávnu detekciu nálezov má vplyv aj fovey, ktorá vytvára taktiež vrstevnice a na ich základe je klasifikovaná ako nález. Takto nežiadúcu detekciu odštáňme detekciou fovey.

Další faktor nepriaznivo ovplyvňujúci detekciu súvisí s liečbou pacienta. Pri laserovej liečbe nevznikajú iba fotokoagulačné body ale taktiež môžu vzniknúť aj fotokoagulačné jazvy. Tieto jazvy sú rôzne veľké, sú tmavej farby a pripomínajú chrasty, obrázok 5.30. Podobne ako pri fotokoagulačných jazvách nám to nebude prekážať z dôvodu už aktívnej liečby.



Obr. 5.30: Fotokoagulačné jazvy

Kapitola 6

Implementácia a testovanie

6.1 Implementácia

Na implementáciu algoritmov a vytvorenie terminálovej aplikácie bol použitý programovací jazyk C++. Tento jazyk bol zvolený hlavne z dôvodu možnosti využitia knižnice OpenCV. OpenCV [5] (open source computer vision) je voľne šíriteľná knižnica s primárnym rozhraním pre C++. Hlavným prínosom tejto knižnice je, že disponuje funkciami, pomocou ktorých je možné spracovať digitálny obraz.

Popis vstupných parametrov:

- **-h/-help** : zobrazí základné informácie a nápovedu ako používať vstupné parametre
- **-i/-image [param]**: vstupný obrázok (sietnica)
- **-e/-exudates**: detekcia exudátov a drúz
- **-m/-microaneurysm**: detekcia mikroaneuryzmov a hemorágií
- **-d/-demo**: demonštruje detekciu optického disku, fovey, masky a krvného riečiska
- **-a/-assessment**: slúži na manuálne vyhodnotenie. Výstupom sú hodnoty (TP,TN,FP,FN)

Príklady spustenia:

```
./main -i image001.png -e ,Detekcia exudátov a drúz
```

```
./main -i image001.png -m ,Detekcia mikroaneuryzmov a hemorágií
```

```
./main -i image001.png -d ,Detekcia optického disku, fovey, masky a krvného riečiska
```

Celý program je rozdelený do viacerých zdrojových súborov. Každý z týchto súborov obsahuje funkcie týkajúce sa detekcií konkrétneho objektu. Hlavným súborom main.cpp, ktorý obsahuje funkciu main(), ktorá prijíma vstupné parametre a na ich základe volá ďalšie funkcie. V zdrojovom súbore main.h sú definované štruktúry a funkcie. V tomto súbore sa taktiež nachádzajú zostavy premenných určených pre konkrétnu databázu. Pomocou týchto premenných, môžeme algoritmus prispôbiť konkrétnej databáze.

Zostava premenných

- **mask_threshold_value** : hodnota prahu na získavanie masky

- `optic_disk_area`: určuje minimálny počet pixelov optického disku pri postupnom prahovaní
- `marked_od_r`: polomer optického disku
- `vessels_morph_opening`: určuje veľkosť matice pri morfolologickej operácii otvorenie. Má vplyv na podrobnosť detekcie. Ak je hodnota vysoká, deteguje aj nálezy ako žily.
- `vessels_thickness`: hrúbka žíl je využívaná k zmierneniu nesprávnej detekcie medzi žilami.
- `exudates_difference`: homogenizačné kritérium - rozsah jasů pre exudáty a drúzy
- `exudates_max_area`: oblasti nad tento počet pixelov sú odstránené, patria pozadiu siete
- `micro_difference`: homogenizačné kritérium - rozsah jasů pre mikroaneuryzmy a hemorágie
- `micro_max_area` : oblasti nad tento počet pixelov sú odstránené, patria pozadiu
- `near_macula_limit`: polomer od centra makule, slúži na klasifikáciu nálezov, ktoré sa nachádzajú v blízkosti fovey.

6.2 Testovanie

V nasledujúcej časti sú popísané použité metódy testovania a vyhodnotenie úspešnosti algoritmu.

Algoritmus je primárne určený na detekciu nálezov v databázach Diaret no na otestovanie robustnosti použijeme aj snímky z databáz HRFIDB, DRIVE a 4 snímky získané z fundus kamery umiestnenej v biometrickom laboratóriu na Fakulte informačných technológií v Brne. Tieto databázy sa líšia kvalitou snímku, čo má veľký vplyv na správnosť detekcie nálezov. V tabuľke 6.1 je zobrazená ich základná charakteristika. Pri prvotnom testovaní nad inými databázami sa zdal algoritmus celkom nepoužiteľný. Po analýze problému nesprávnej detekcie boli upravené parametre a algoritmus dosahoval lepšie výsledky. V zdrojovom súbore *main.h* sa nachádzajú zostavy parametrov optimalizované pre detekciu nad konkrétnymi databázami. Týmto demonštrujeme schopnosť prispôsobiteľnosti sa aj iným databázam, respektíve fundus kamerám s rôznym nastavením a rôznymi parametrami.

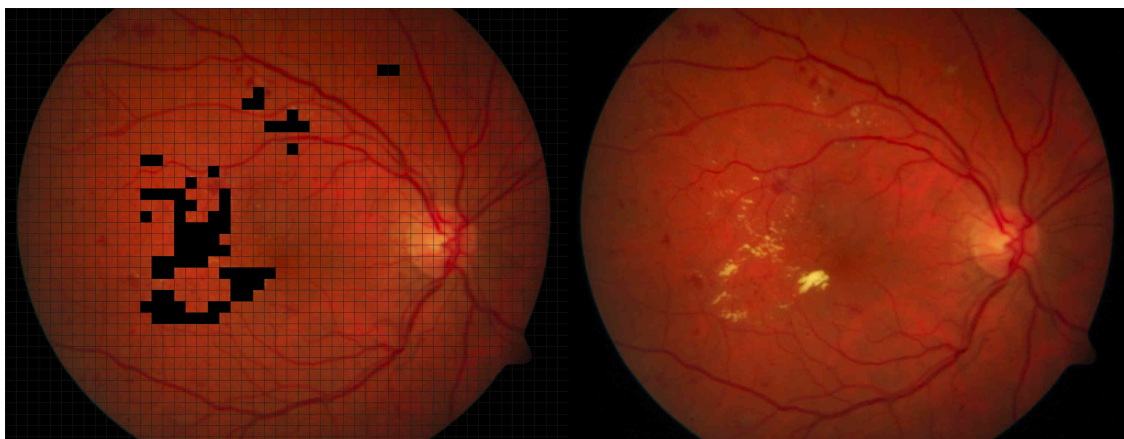
Databáza	počet snímku	formát	rozmer	kamera	zorné pole
DIARETDB 0	89	PNG	1500x1152	-	50°
DIARETDB 1	130	PNG	1500x1152	-	50°
HRFIDB	16	JPG	3504x2336	Canon CR-1	45°
DRIVE	20	tif	565x584	Canon CR5	45°
školská fundus k.	4	PNG	3888x2592	Canon CR-1	-

Tabuľka 6.1: Charakteristika databáz

6.2.1 Ground truth

Na vyhodnotenie úspešnosti detekcie masky pozadia, optického disku a fovey nie sú potrebné znalosti oftalmológa. Tieto časti sietnice môže po naštudovaní základnej anatómie sietnice určiť aj neodborná osoba. Na vyhodnotenie úspešnosti detekcie nálezov je však potrebné tieto výsledky porovnať so skutočnými výsledkami, kde detekciu vykonal manuálne lekár, optimálne oftalmológ. Tieto nálezy je pomerne ťažko identifikovať a detekcia si vyžaduje prax. Vyhodnotiť snímky je taktiež aj časovo náročné. Určovanie nálezov prebiehalo manuálne na základe testovacieho programu za prítomnosti študentky lekárskej fakulty Masarykovej univerzity. Ďalej v databázach diaretdb0 a diaretdb1 sú priložené súbory diaretdb0_groundtruths a diaretdb1_groundtruths, kde sa nachádzajú informácie o tom aké príznaky sa v snímke nachádzajú (redsmalldots, hemorrhages, hardexudates, softexudates, Neovascularisation). Manuálne označené snímky sietnic sú zahrnuté v priloženom CD.

6.2.2 Výsledky testovania



Obr. 6.1: Proces vyhodnotenia

Na účely testovania detekcie mikroaneurizmov, hemorágií, exudátov a drúz bol vytvorený testovací program, ktorý tento proces urýchlil a automaticky vyhodnotil. Testovací program zobrazí užívateľovi dve okná. V prvom okne je originálna sítka s automaticky vyznačenými nálezmi, cez ktorý je umiestnená matica. Na tejto matici je možné kurzorom vyklikať pixely(30x30) ktoré chceme označiť ako nálezy. V druhom okne je originálny snímok z databázy, viz obrázok 6.1.

Výstup z testovacieho programu poskytuje štyri údaje: true positive, false positive, true negative, false negative. Tieto hodnoty získame porovnaním ground truth a automaticky vyhodnotených oblastí pre každý snímok. Výsledné hodnoty spriemerujeme zo všetkých obrázkov aby sme mohli určiť celkovú citlivosť a špecifickosť. Citlivosť pre nás v tomto prípade reprezentuje percento skutočne zasiahnutých častí sietnice klasifikovaných automatickou detekciou ako postihnuté. Hodnotu citlivosti (true possitive rate) získame pomocou vzťahu:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6.1)$$

Špecifickosť alebo true negative rate v našom prípade znamená percento zdravých častí klasifikovaných automatickou detekciou ako zdravé sietnice. Získame ju výpočtom podľa vzťahu:

$$TNR = \frac{TN}{TN + FP} \quad (6.2)$$

Databáza Diaret

Ako môžeme vidieť v tabuľke 6.2, optický disk bol nesprávne detegovaný spolu v 8 prípadoch. Nesprávna detekcia OD je zapríčinená nízkou kvalitou snímok. Tieto snímky obsahujú tieň alebo práve naopak svetelné odrazy z fundus kamery. V jednom prípade nesprávnu detekciu spôsobuje exudát s rovnakou veľkosťou a intenzitou ako optický disk.

Databáza	správne	nesprávne	úspešnosť
Diaretdb0	85	4	95,29%
Diaretdb1	126	4	96,82%

Tabuľka 6.2: Optický disk

V nasledujúcich dvoch tabuľkách sú zobrazené výsledky testov detekcie jednotlivých príznakov.

Dairetdb0	citlivosť	špecifickosť	presnosť
Exudáty a drúzy	94,26%	99,41%	99,65 %
Microaneuryzmi a hemorágie	92,66%	99,24%	99,24 %

Tabuľka 6.3: Výsledky DIARETDB0

Diaretdb1	citlivosť	špecifickosť	presnosť
Exudáty a drúzy	90,28%	99,32%	99,65%
Microaneuryzmi a hemorágie	91,46%	99,35%	99,42%

Tabuľka 6.4: Výsledky DIARETDB1

Iné databázy

Na otestovanie možnosti využitia algoritmu aj pri iných fundus kamerách použijeme snímky z databáz: HRFIDB [15], drive [22] a 4 snímky zo školskej fundus kamery. Pri prvom testovaní algoritmus nad týmito databázami vykazoval nulovú použiteľnosť. Tento výsledok spôsobuje rozdielna kvalita snímok. Na to aby sme mohli algoritmus využiť aj pri iných databázach je potrebné optimalizovať určité premenné. Pre každú databázu bola vytvorená zostava premenných. V časti 6.1 sú popísané jednotlivé premenné a ich význam.

Tabuľka 6.5 prezentuje úspešnosť detekcie optického disku. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté nad databázou HRFIDB a na snímkach zo školskej kamery. Tieto snímky sú v dobrej kvalite a neobsahujú výrazné prejavy chorôb.

Databáza	Správna detekcia	Nesprávna detekcia	Úspešnosť
HRFIDB	16	0	100%
DRIVE	19	1	94,73%
Školská fundus k.	4	0	100%

Tabuľka 6.5: Výsledky detekcie OD

Nasledujúce tabuľky zobrazujú úspešnosť detekcie nálezov: exudátov, drúz, mikroaneuryzmov a hemorágií.

HRFIDB	citlivosť	špecifickosť	presnosť
Exudáty a drúzy	69,81%	98,76%	98,36%
Microaneuryzmi a hemorágie	18,3%	99,87%	99,51%

Tabuľka 6.6: Výsledky - HRFIDB

Drive	citlivosť	špecifickosť	presnosť
Exudáty a drúzy	63,63%	99,70%	99,7%
Microaneuryzmi a hemorágie	NA%	98,63%	98,53%

Tabuľka 6.7: Výsledky - DRIVE

Na snímkach získaných zo školskej kamery sa nenachádzali žiadne príznaky. databázy

Školská kamera	citlivosť	špecifickosť	presnosť
Exudáty a drúzy	NA%	99,93%	99,93%
Microaneuryzmi a hemorágie	NA%	99,97%	99,95%

Tabuľka 6.8: Výsledky - Školská fundus kamera

Kapitola 7

Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť algoritmus na detekciu príznakov chorôb v snímkach sietnice ľudského oka. Zameral som sa na dve najrozšírenejšie ochorenia: diabetická retinopatia a vekom podmienená makulárna degenerácia. V práci je obsiahnutý teoretický úvod týkajúci sa ochorení a technický úvod k vybraným metódam spracovania digitálneho obrazu. Jadro práce vysvetľuje jeden z možných postupov ako detegovať tieto príznaky. Na záver sú prezentované výsledky úspešnosti detekcie.

Pred detekciou príznakov sú odstránené prvky sietnice ako optický disk, fovea a krvné riečisko. Tieto prvky by nepriaznivo ovplyvnili detekciu príznakov. Hlavným princípom použitej metódy je segmentácia snímky na regióny. Tieto regióny a vzťahy medzi nimi sú následne analyzované. Na segmentáciu je použitý algoritmus region growing. Celkovým prínosom práce je zistenie, že pomocou tejto segmentácie, vzniknú v obraze vrstevnice, ktoré môžeme prehlásiť za nálezy. Testovanie nad databázami diaretdb0 a diaretdb1 preukázalo schopnosť detegovať nálezy touto metódou s viac ako 90 % úspešnosťou. Ďalej bola testovaná robustnosť algoritmu nad databázami drive a HRFID. Celkovo bolo na testovanie použitých 259 snímokou.

Jedným z potencionálne praktických využití tohto algoritmu je v spojení s hardwarom a fundus kamerou. Toto spojenie je možné využiť na screening obyvateľstva, bez prítomnosti oftalmológa. Detekciu príznakov je taktiež možné využiť pri rekonštrukcii snímku sietnice a následne pri identifikácii a verifikácii v biometrických systémoch. Vďaka tomuto synergickému spojeniu je možné nielen rozšíriť funkcionality systému ale hlavne detegovať prítomnosť príznakov v čase, kedy je možné ešte ochoreniu zabrániť.

Literatúra

- [1] Hybridní funduskamera CX-1.
URL <http://www.cmi.sk/oftalmologie/diagnostika-1/zobrazovaci-systemy/funduskamery/hybridni-funduskamera-cx-1>
- [2] Determination of the Location of the Fovea on the Fundus. 1997, [Online; navštíveno 11.04.2017].
URL <http://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2163282>
- [3] Beran, V.; Španěl, M.: Obrazové segmentační techniky. FIT VUT v Brně, Oct 2006, [Online; navštíveno 10.04.2017].
URL <http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/>
- [4] Bourne, R. R. A.; Stevens, G. A.; White, R. A.; aj.: Causes of vision loss worldwide, 1990–2010: a systematic analysis. *The Lancet Global Health*, ročník 1, č. 6, 2013: s. 339–349, ISSN 2214-109X, doi:[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70113-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70113-X).
- [5] Bradski, G.: The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000.
- [6] Ernest, J.: *Makulární degenerace*. Praha: Mladá fronta, první vydání, 2010, ISBN 9788020423634.
- [7] Hycl, J.; Trybučková, L.: *Atlas oftalmologie*. V Praze: Triton, první vydání, 2003, ISBN 8072543822.
URL <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:cee19460-034e-11e4-9789-005056827e52>
- [8] Jhawe, S.; Karth, W. P. A.: Panretinal Photocoagulation. Oct 2016, online; navštíveno 11.04.2017.
URL http://eyewiki.aao.org/Panretinal_Photocoagulation
- [9] Kamdi, S.; Krishna, R.: Image Segmentation and Region Growing Algorithm. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, ročník 2, č. 18, 2012: s. 103–107, ISSN 2249 - 6343.
- [10] Kashani, A.; Zimmer-Geller, I.; Shah, S.; aj.: Retinal thickness analysis by race, gender, and age using Stratus OCT. *American Journal of Ophthalmology*, ročník 3, č. 149, 2009: s. 496–502, doi:10.1016/j.ajo.2009.09.025.
- [11] Kauppi, T.; Kalesnykiene, V.; k. Kamarainen, J.; aj.: DIARETDB0 diabetic retinopathy database and evaluation protocol. 2006.
URL <http://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/>

- [12] Kauppi, T.; Kalesnykiene, V.; k. Kamarainen, J.; aj.: DIARETDB1 diabetic retinopathy database and evaluation protocol. 2007.
URL <http://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretddb1/>
- [13] Kolář, P.: *Věkem podmíněná makulární degenerace*. Praha: Grada, první vydání, 2008, ISBN 9788024726052.
- [14] Kolář, P.: Diabetická retinopatie (diagnostika, terapie, klasifikace) (prednáška). 2016, [Online; navštíveno 10.04.2017].
URL https://is.muni.cz/el/1411/jaro2016/VL0L7X1/um/Diabeticka_retinopatie_2014_Bohunice.pdf
- [15] Köhler, T.; Budai, A.; Kraus, M.; aj.: Automatic No-Reference Quality Assessment for Automatic No-Reference Quality Assessment for Retinal Fundus Images Using Vessel Segmentation. *IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, ročník 26, 2013.
- [16] Li, X.; Wong, W.; Cheung, C.; aj.: Racial differences in retinal vessel geometric characteristics: a multiethnic study in healthy Asians. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, , č. 54, 2013: s. 3650–3656, doi:10.1167/iovs.12-11126.
- [17] Pavlovičová, J.: Číslíkové spracovanie obrazu. Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Bratislava, 2016, [Online; navštíveno 11.04.2017].
URL <http://ibooks.sk/publ/12pavlovicova/>
- [18] R.FISHER, A. W. E. W., S.Perkins: Gaussian distribution. 2000.
URL <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>
- [19] Rhcastilhos: Prierez ľudského oka. 2007.
URL https://sk.wikipedia.org/wiki/Sietnica#/media/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_sk.svg
- [20] SINTHANAYOTHIN, C.: Image Analysis for Automatic Diagnosis of Diabetic Retinopathy. 1999.
- [21] Sosna, T.: *Diabetická retinopatie*. Praha: Axonite CZ, druhé vydání, 2016, ISBN 9788088046059.
- [22] Staal, J.; Abramoff, M.; Niemeijer, M.; aj.: Ridge based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, ročník 23, č. 4, 2004: s. 501–509.
- [23] Vlková, E.; Šárka Pitrová; Vlk, F.: *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008, ISBN 9788023989069.

Príloha A

Obsah CD

Priložené CD obsahuje súbory:

- *praktická časť/dokumentácia/* - komentár zdrojových súborov - Doxygen
- *praktická časť/zdrojové subory/* - zdrojové súbory aplikácie
- *praktická časť/readme.txt* - readme
- *praktická časť/main* - spustiteľný súbor
- *textová časť/projekt.pdf* - bakalárska práca
- *textová časť/latex/* - zdrojový súbor bakalárskej práce - latex
- *výsledky/označenia/* - výsledky automatickej detekcie
- *výsledky/vyhodnotenie/* - manuálne vyznačené nálezy (ground truth)